

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE**

TOMISLAV LUKE

**KONSTRUKCIJA JEDNOOSNOG SUSTAVA ZA
FOTONAPONSKE PANELE**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2015.

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE**

TOMISLAV LUKE

**KONSTRUKCIJA JEDNOOSNOG SUSTAVA ZA
FOTONAPONSKE PANELE**

ZAVRŠNI RAD

STUDENT : Tomislav Luke Mentor: dr. sc. Vladimir Tudić

KARLOVAC, 2015.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / specijalistički studij: Strojarsstvo
(označiti)

Usmjerenje: Mehatronika Karlovac

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Tomislav Luke Matični broj: 0112607014

Naslov: Konstrukcija jednoosnog sustava za fotonaponske panele

Opis zadatka:

Za potrebe završnog rada proučiti FN panele i opisati način rada solarnih ćelija i fotonaponskog efekta. Korištenjem relevantne literature proučiti količinu zračenja Sunca u ljetnim mjesecima u svrhu prikaza proizvodnje kWh električne energije u proizvoljnom FN sustavu na krovu obiteljske kuće. Konstruirati jednoosni sustav i iskazati podatke komparacije fiksnog i takvog jednoosnog sustava. Koristiti stručnu literaturu i referentne internetske stranice kao i konzultacije s mentorom.

Zadatak zadan:

03. 10. 2014.

Rok predaje rada:

13. 02. 2016.

Predviđeni datum obrane:

23. 02. 2016.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Predgovor

Izjava

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno, koristeći znanje stećeno tijekom studija i obavljanja stručne prakse, služeći se navedenom stručnom literaturom.

Zahvala

Zahvaljujem se mentoru dr.sc. Vladimiru Tudiću na savjetima, konzultacijama i pomoći pri izradi ovog završnog rada. Hvala svima koji su mi bili podrška kroz moj studij, a posebno mojoj obitelji na trudu i razumijevanju

TOMISLAV LUKE

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je opisati konstrukciju i instalaciju iste, rotacijskog fotonaponskog sustava za jednoosno praćenje Sunca. Izvršena je i usporedba fiksnog i rotacijskog sustava za grad Karlovac.

U uvodu je kratko opisan sadržaj završnog rada, te se može jasno vidjeti da se, zbog sve veće osviještenosti, sve više zemalja okreće proizvodnji električne energije putem obnovljivih izvora.

U drugom poglavlju dani su opći podaci o Suncu i sastavu Sunca.

Treće poglavlje opisuje sunčevo zračenje u granici atmosfere, u svijetu i u Hrvatskoj, te o spektru sunčevog zračenja.

Četvrto poglavlje opisuje pretvaranje sunčevog zračenja u električnu energiju fotonaponskim ćelijama.

Tehnologije proizvodnje solarnih ćelija opisane su u petom poglavlju.

Šesto poglavlje opisuje fotonaponske sustave.

U sedmom poglavlju prikazano je izvođenje fotonaponskih sustava.

Osmo poglavlje prikazuje konstrukciju jednoosnog krovnog nosača FN panela.

U završnom devetom poglavlju iznesen je zaključak o ovom završnom radu.

SUMMARY

The aim of this final thesis is describe construction and installation of the same, rotary photovoltaic system. The comparison of the fixsed and rotary system for Karlovac.

The introduction briefly describes the content of the final thesis, and can be clearly seen that, due to the increasing awareness, more and more countries turns the production of electricity trough renewable sources.

The second section provides general information about the Sun and Sun structure.

The third chapter describes the Sun solar radiation in the atmosphere boundary, world wide and in Croatia, and the spectrum of Sun solar radiation.

The fourth section describes the conversion of sunlight into electrical energy, photovoltaic or solar cells.

Production technologies for solar cells are described in chapter five.

The sixth chapter describes photovoltaic systems

In the seventh section shows the performance of photovoltaic systems.

Chapter eight presents construction of the uniaxial roof rack photovoltaic panels.

The final ninth chapter contains the conclusion of this final thesis.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SUNCE.....	3
2.1 Sastav Sunca	4
3. SUNČEVO ZRAČENJE.....	7
3.1 Sunčevo zračenje u granici atmosfere	8
3.2 Sunčevo zračenje u svijetu	9
3.3 Sunčevo zračenje u Hrvatskoj	10
3.4 Spektar sunčevog zračenja.....	12
4. PRETVARANJE SUNČEVOG ZRAČENJA U ELEKTRIČNU ENERGIJU FOTONAPONSKIM ĆELIJAMA.....	13
4.1 Povijest fotonaponskih ćelija.....	14
4.2 Fotonaponski efekt	14
5. TEHNOLOGIJE PROIZVODNJE SOLARNIH ĆELIJA	16
5.1 Tehnologije sunčanih ćelija.....	18
6. FOTONAPONSKI SUSTAVI.....	19
6.1 Vrste solarnih fotonaponskih sustava.....	21
7. IZVOĐENJE FOTONAPONSKIH SUSTAVA.....	24
8. KONSTRUKCIJA JEDNOOSNOG KROVNOG NOSAČA FN PANELA.....	26
8.1 Instalacija FN sustava sa rotirajućim postoljem.....	26
8.2 Komparacija podataka za rotirajući i fiksni FN sustav	31
9. ZAKLJUČAK	40
10. PRIVITAK:.....	42

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz sunca	3
Slika 2. Presjek Sunca	4
Slika 3. Sunčevo zračenje	7
Slika 4. Vrste sunčevog zračenja	8
Slika 5. Prikaz sunčevog zračenja u granici atmosfere	9
Slika 6. Prikaz prosječnog godišnjeg globalnog zračenja	10
Slika 7. Prikaz ukupnog godišnjeg Sunčeva zračenja u Hrvatskoj	11
Slika 8. Spektar Sunčevog zračenja	12
Slika 9. Prikaz solarne ćelije	13
Slika 10. Prikaz fotoelektrične konverzije u PN spoju.....	15
Slika 11. Predodžba monokristalne i polikristalne solarne ćelije.....	16
Slika 12. Tankofilmna solarna ćelija.....	17
Slika 13. Omjer cijene i učinkovitosti generacija sunčanih ćelija.....	18
Slika 14. Prikaz FN ćelije, modula i panela	19
Slika 15. I-U karakteristika serijskog spoja FN ćelija.....	19
Slika 16. Poprečni presjek FN modula sačinjenog od kristalnog silicija	20
Slika 17. Prikaz samostalnog fotonaponskog sustava za trošila na istosmjernu struju	21
Slika 18. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije	22
Slika 19. Shema samostalnoga hibridnog fotonaponskog sustava s generatorom	23
Slika 20. Određivanje međusobnog razmaka redova FN modula	25
Slika 21. Prikaz krovnog FN sustava	27
Slika 22. Predodžba krovnog nosača FN sustava.....	27
Slika 23. Predodžba krovnog nosača – detalj spoja nosača i letve.....	28
Slika 24. Predodžba zakreta solarnog sustava za 30°.....	28
Slika 25. Predodžba položaja FN sustava na krovu	29
Slika 26. Predodžba detalja - pogonski step motor	29
Slika 27. Predodžba step motora na krovu.....	30
Slika 28. Predodžba FN sustava sa step motorom	30

POPIS TABLICA

Tablica 1. Osnovni podaci o Suncu.....	3
Tablica 2. Kemijski sastav Sunca.....	4
Tablica 3. Dobit električne energije u kWh za 17.05.2014. fiksnog i rotirajućeg FN sustava.....	31
Tablica 4. Dobit električne energije u kWh za 13.06.2014. fiksnog i rotirajućeg FN sustava.....	33
Tablica 5. Dobit električne energije u kWh za 16.07.2014. fiksnog i rotirajućeg FN sustava.....	35
Tablica 6. Dobit električne energije u kWh za 17.08.2014. fiksnog i rotirajućeg FN sustava.....	37
Tablica 7. Usporedba iskoristivosti oba fotonaponska sustava (%).....	39

POPIS GRAFOVA

Graf 1. Dobit električne energije za 17.05.2014.	32
Graf 2. Krivulje iskoristivosti sunčevog zračenja za 17.05.2014.....	32
Graf 3. Dobit električne energije za 13.06.2014.	34
Graf 4. Krivulje iskoristivosti sunčevog zračenja za 13.06.2014.....	34
Graf 5. Dobit električne energije za 16.07.2014.	36
Graf 6. Krivulje iskoristivosti sunčevog zračenja za 16.07.2014.....	36
Graf 7. Dobit električne energije za 17.08.2014.	38
Graf 8. Krivulje iskoristivosti sunčevog zračenja za 17.08.2014.....	38
Graf 9. Suma ukupnog dnevnog prinosa (kWh) oba FN sustava.....	39

1.UVOD

Posljednjih godina postoji sve veći interes za korištenje obnovljivih izvora energije, posebno za sunčevu (solarnu) energiju. Razvijene zemlje u velikoj mjeri potiču njihovu upotrebu. Razlog tome treba posebno istaknuti u visokoj cijeni fosilnih goriva uz njihov stalni porast, kao i veliko onečišćenje okoliša koje utječe na klimatske promjene. U obnovljive izvore energije spadaju energija vode, vjetra, biomase, sunčevog zračenja i geotermalna energija. Iako Sunce nije vječno, i teoretski nije obnovljiv izvor, smatramo ga obnovljivim izvorom zbog njegovog dugog životnog vijeka koji se mjeri u milijardama godina. Nakon energetske krize 1973. godine postalo je jasno da bi trebalo razviti nove izvore energije, djelotvornije iskorištavati energiju a ujedno je i štedjeti.

U ovom završnom radu pisano je o povećanoj iskoristivosti sunčeve energije preko rotirajućeg krovnog fotonaponskog sustava. Vršena je usporedba fiksnog i rotirajućeg FN sustava za grad Karlovac. Podaci za usporedbu preuzeti su sa službenih stranica Veleučilišta u Karlovcu iz projekta "Sunčana elektrana Veleučilišta u Karlovcu". Odgovarajućim tablicama i grafovima prikazana je komparacija oba sustava jednog dana u Svibnju, Lipnju, Srpnju i Kolovozu. Također je osmišljena konstrukcija i instalacija konstrukcije rotirajućeg FN sustava.

U nekim zemljama članicama Europske unije mali proizvođači električne energije proizvedenu struju mogu prodavati na slobodnom energetsom tržištu. Svaki proizvedeni kWh prodaje se prema aktualnoj cijeni na tržištu. Kad je riječ o proizvodnji električne energije iz solarnih izvora u Hrvatskoj možemo slobodno ustvrditi da je naš zemljopisni položaj uvelike povoljniji od položaja velikog broja zemalja članica Europske unije. U najvećem djelu Hrvatske intenzitet sunčeve energije je uistinu obilan što znači da postoje dobri početni uvjeti u pogledu ekonomske isplativosti rada i instalacije fotonaponskih sustava. Unatoč tome, u Hrvatsku se uvozi više od 30% električne energije.

Postoje uglavnom tri načina upotrebe sunčeve energije: pretvorba u toplinsku energiju i električnu energiju te biomase. Sunčeva energija se može na više načina pretvoriti u električnu, a najjednostavnija je izravna pretvorba pomoću fotonaponskih (solarnih) ćelija. Princip rada sunčane ćelije temelji se na izravnoj pretvorbi sunčeve energije u električnu energiju na temelju fotoelektričnog efekta.

Fotonaponski sustavi imaju brojne prednosti kao što su: Sunčeva energija je besplatna i praktički neiscrpna, tehnologija pretvorbe energije je čista, moguće je napajanje potrošača na mjestima gdje nema izgrađenog elektroenergetskog sustava, karakterizira je visoka pouzdanost i mali pogonski troškovi, a osigurava se dugogodišnji vijek trajanja fotonaponskih modula (>25 godina). Nedostaci fotonaponskog sustava su ti što proizvodnja ovisi o osunčanosti, potrebne su velike površine za veće elektrane, tehnologija pretvorbe sunčeve energije u električnu je još uvijek skupa, a sve to uz malu efikasnost. Time su ulaganja u solarne elektrane teško isplativa bez dodatnih poticaja.

SUNCE

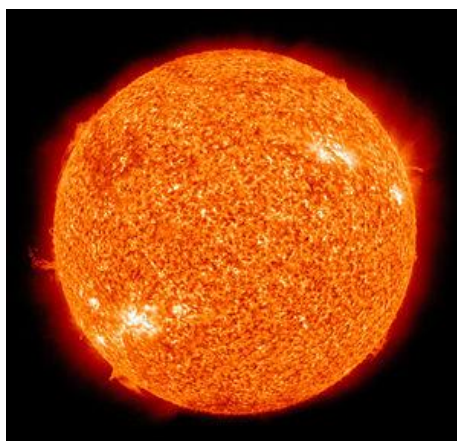
Sunce je zvijezda u centru našeg Sunčevog sustava. Ona je gotovo savršena kugla i sastoji se od plinovite vruće plazme, koja je isprepletena magnetskim poljima. Životni vijek zvijezde ovog tipa je oko 10 milijardi godina, a budući je Sunce staro oko 5 milijardi godina, nalazi se u sredini svog životnog ciklusa. Sunčeva svjetlost do nas pristiže za 8 minuta. Kad bi svjetlost do nas putovala godinu dana, prevaljujući udaljenost jednaku godini svjetlosti, Sunce bi nam sličilo običnoj zvijezdici na čijoj bismo se svjetlosti mogli samo smrznuti. Sunce svake sekunde izrači energiju jednaku $4 \times 10^{26} \text{ J}$. To znači da je snaga zračenja Sunca $4 \times 10^{26} \text{ W}$. Promjer Sunca iznosi 1 392 000 km, a masa mu je oko $2 \times 10^{30} \text{ kg}$, što je za 330 000 puta više od zemlje.

Osnovni podaci:

Tablica 1. Osnovni podaci o Suncu

Promjer	1 392 000 km
Masa	$1,9891 \times 10^{30} \text{ kg}$
Prosječna gustoća	$1,411 \text{ g/cm}^3$
Površinska temperatura	5760 K
Vrijeme obilaska oko središta galaksije	$2,2 \times 10^8 \text{ godina}$

(izvor: www.wikipedia.com)



Slika 1. Prikaz sunca
(izvor: www.wikipedia.com)

1.1 Sastav Sunca

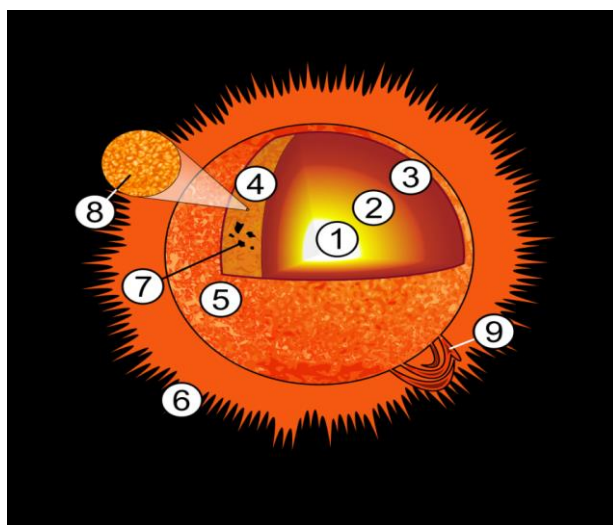
Sunce dijelimo na veći broj slojeva, a granice među njima nisu jasno ocrtane i postoje prijelazna područja. Sunce nema čvrstu površinu, pa se kao granicu na kojoj počinje atmosfera uzima najviši sloj koji je još uvijek optički neproziran. Sunce ne možemo točno ograničiti jer njegov gušći dio prelazi u rjeđu atmosferu, a iza nje se daleko prostire područje u kojem djeluje sunčev vjetar. U tablici 2. prikazan je kemijski sastav Sunca.

Tablica 2. Kemijski sastav Sunca

Vodik	73,46 %
Helij	24,58 %
Kisik	0,77 %
Ugljik	0,29 %
Željezo	0,16 %
Neon	0,12 %
Dušik	0,09 %
Silicij	0,07 %
Magnezij	0,05 %
Sumpor	0,04 %

(izvor: www.wikipedia.com)

Na slici 2. prikazan je presjek Sunca : 1. Sunčeva jezgra, 2. Zona radijacije, 3. Zona konvekcije, 4. Fotosfera, 5. Kromosfera, 6. Korona, 7. Sunčeve pjege, 8. Granule, 9. Prominencije



Slika 2. Presjek Sunca (izvor: www.wikipedia.com)

Jezgra

Do četvrtine polumjera Sunca prostire se jezgra, područje visoke temperature, oko 15,6 milijuna K i tlaka 10^{16} Pa. Sunčeva jezgra stvara gotovo svu toplinu koja se stvori nuklearnom fuzijom, preostalih 1% se stvori izvan jezgre. Energija koja se stvori u jezgri mora putovati veliki broj puta kroz razne slojeve, dok ne dođe do fotosfere i izađe u svemir kao sunčeva svjetlost ili kinetička energija čestica.

Zona radijacije

Iznad jezgre se nalazi zona zračenja, otprilike od 25% do 70% sunčevog polumjera od centra. U toj zoni nije dovoljna temperatura da se stvori nuklearna fuzija, pa se toplina prenosi zračenjem prema vanjskim slojevima. U toj zoni nema konvekcije ili mješanja plazme, a temperature se kreću od 7 000 000 do 2 000 000 K na vanjskom dijelu. Energija se prenosi zračenjem iona vodika i helija, koji emitiraju fotone koji vrlo brzo prijeđu tu udaljenost do vanjskog dijela zone zračenja, gdje fotone preuzmu drugi ioni u zoni konvekcije. Gustoća se mijenja od 20 g/cm^3 do samo $0,2 \text{ g/cm}^3$ na vrhu tog sloja.

Konvektivna zona

Iznad zone zračenja se nalazi zona konvekcije, otprilike od 70% sunčevog polumjera do fotosfere, što je otprilike 200 000 km. U tom sloju plazma nije dovoljno topla i gusta za prijenos energije zračenjem. Zato se pojavljuju toplinski stupovi, koji prenose vruću plazmu od zone zračenja do fotosfere: kad se plazma ohladi, spušta se natrag i tako stvara zatvoreni krug. Temperatura padne s 2 000 000 K na 5 778 K, a gustoća je oko $0,2 \text{ g/cm}^3$.

Fotosfera

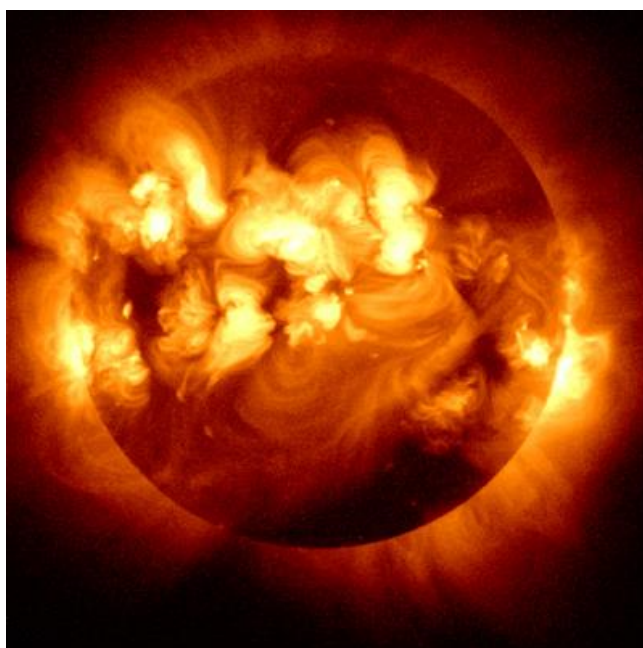
Prividnu površinu Sunca nazivamo još i fotosferom. Ovdje se temperature kreću oko 6000 K. Vrući plin izvire iz unutrašnjosti na površinu, zbog čega nam se čini da površina ima granulastu (zrnatu) strukturu. Granule su promjera oko 1000 km, u stalnom su pokretu (poput vrenja vode), a vrijeme trajanja im je nekoliko minuta. Ponekad nastaju tzv. supergranule promjera 30 000 km koje traju i do 24 sata.

Korona

U višim slojevima sunčeve atmosfere, koroni, temperatura nastavlja rasti do 1 000 000 K. Nije sasvim jasno zbog čega se taj porast temperature događa. Pretpostavka je da ga stvaraju strujanja plina pod utjecajem magnetskog polja. Sunčeva korona (1 – 3 milijuna K) je oko 200 puta toplija od vidljive površine Sunca ili fotosfere (u prosjeku 5 800 K). Osim toga, korona je za 10^{12} puta rjeđa od fotosfere. Korona je odvojena od fotosfere relativno tankim slojem kromosfere. Pravi mehanizam kako dolazi do tolikog grijanja korone još nije sasvim poznat, ali smatra se da je to najvjerojatnije posljedica induktivnog djelovanja sunčevog magnetskog polja na plazmu u koroni. Vanjski dijelovi korone stalno odlaze sa Sunca duž otvorenih magnetskih linija u obliku sunčevog vjetra.

SUNČEVO ZRAČENJE

Sunčeva energija predstavlja jednu od osnovnih komponenti za razvoj života na Zemlji. Većina dostupnih energetske oblika u prirodi nastala je djelovanjem energije Sunca. Sunčeva energija je dostupan i besplatan oblik energije, međutim, sustavi za korištenje sunčeve energije nerijetko predstavljaju značajnu investiciju. Na slici 3. prikazano je sunčevo zračenje.



Slika 3. Sunčevo zračenje (izvor: www.wired.com)

U unutrašnjosti Sunca odvijaju se nuklearne reakcije prilikom kojih se oslobađaju veće količine energije te se dio te energije emitira u svemir kao sunčevo zračenje kakvo poznajemo na planetu Zemlji. Sunce neprestano zrači u svemir elektromagnetno zračenje valnih duljina od 0,2 do 24 mikrometra. Samo 51% tog zračenja dolazi do Zemlje, no i ta je količina dovoljna da pokrene niz procesa na našem planetu. Solarna konstanta je energija dozračena od Sunca okomito do jedinične površine na gornjoj granici atmosfere, u jedinici vremena, pri srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca i iznosi $1370 \text{ W/m}^2 \pm 6 \%$.

Energija kojom Sunce zrači sa svoje površine iznosi oko $9,5 \times 10^{25}$ W i to se zračenje sastoji od različitih valnih duljina. Većina (99%) sunčevog zračenja otpada na spektar 0,275 – 4,6 μm . Maksimum sunčevog zračenja je na 0,48 μm i sastoji se od ultraljubičastog (0,12 – 0,4 μm), vidljivog (0,4 – 0,75 μm) i infracrvenog dijela ($> 0,75 \mu\text{m}$). Ultraljubičasti dio nosi oko 10%, vidljivi oko 50% i infracrveni oko 40% ukupne energije sunčevog zračenja.

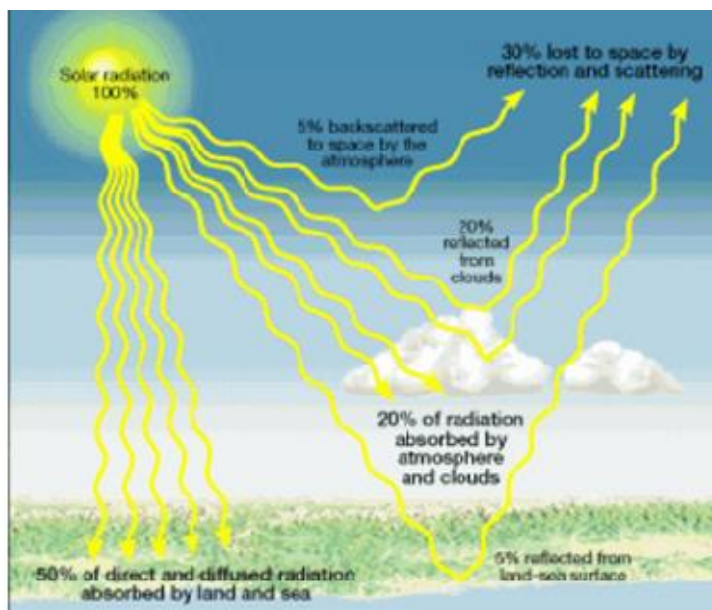


Slika 4. Vrste sunčevog zračenja (izvor: www.meteo-info.hr)

1.2 Sunčevo zračenje u granici atmosfere

Zemlja se u svojoj putanji okreće oko Sunca (revolucija) te oko svoje osi (rotacija), što uzrokuje pojavu godišnjih doba te dana i noći. Nagib osi ekliptike (vrtnje oko svoje osi) mijenja se tijekom godine, što uzrokuje promjenu kuta upada sunčevih zraka, odnosno smanjivanje i povećanje duljina dana i noći te pojavu godišnjih doba. Zemlja se vrti oko Sunca u eliptičnoj putanji s vrlo malim ekscentricitetom ($e=0,017$) tako da se udaljenost Zemlje i Sunca mijenja vrlo malo tijekom godine.

Zračenje sa Sunca dolazi nepromijenjeno do vrha atmosfere, a zatim se pri prolasku kroz atmosferu mijenja smjer, intenzitet i spektralni sastav. Prosječno se 20% upadnog zračenja odbija od oblaka, 5% odbija atmosfera, 20% upijaju molekule plinova u atmosferi i 5% se odbija od površine zemlje ili mora pa do tla dolazi oko 50% upadnog zračenja. Atmosfera jako upija ultraljubičasti i infracrveni dio, a valne duljine manje od 0,38 i veće od 7 mikrometara uopće ne propušta. Mikroskopske čestice prisutne u atmosferi, aerosoli, raspršuju izravno Sunčevo zračenje i mijenjaju smjer tog zračenja.

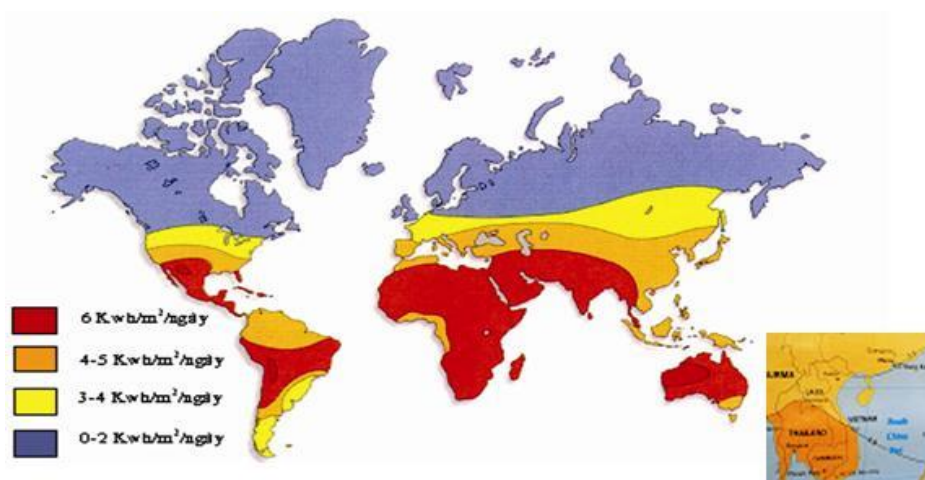


Slika 5. Prikaz sunčevog zračenja u granici atmosfere (izvor: www.gopixpic.com)

1.3 Sunčevo zračenje u svijetu

Zbog velike udaljenosti Zemlje i Sunca smatramo da se sunčevo zračenje prije ulaska u atmosferu sastoji od snopa paralelnih elektromagnetskih valova. Međudjelovanjem s plinovima i česticama u atmosferi sunčevo zračenje se može upiti (oko 18%), odbiti (oko 10%) ili nesmetano proći kroz atmosferu (oko 70%).

Na Zemljinu površinu iz atmosfere dopire izravno i raspršeno sunčevo zračenje te se upija ili odbija na Zemljinoj površini. Ukupna količina sunčeva zračenja na okomitu plohu naziva se globalno zračenje. Globalno zračenje na horizontalnu plohu se sastoji od direktnog, raspršenog i odbijenog sunčevog zračenja. Mjerna jedinica globalnog zračenja je (W/m^2).



Slika 6. Prikaz prosječnog godišnjeg globalnog zračenja (KWh/m²)

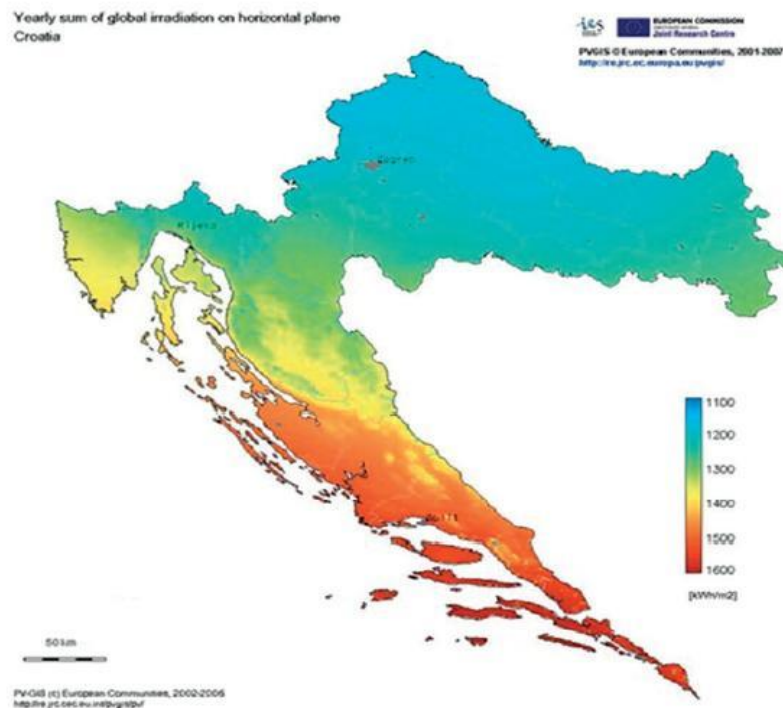
(izvor: www.vast.ac.vn)

1.4 Sunčevo zračenje u Hrvatskoj

Život na zemlji je nezamisliv bez sunca: daje nam svjetlost i toplinu, utječe na klimu i rast biljaka. Sunce nam unutar 30 minuta isporučuje više energije nego što cijelo čovječanstvo može potrošiti u jednoj godini. Već danas sunčane elektrane opskrbljuju cijele gradove sa električnom strujom i pri tome smanjuju emisije štetnih plinova i utječu na zaštitu okoliša. Samo jedan kWh električne energije dobivene iz Sunca smanjuje emisiju CO₂ za 1 kg.

Hrvatska zahvaljujući svojem geografskom položaju ima vrlo povoljne uvjete za iskorištavanje sunčeve energije. U južnom dijelu Hrvatske godišnja proizvodnja klasičnog fotonaponskog sustava iznosi od 1100 do 1330 kWh po instaliranom kWp snage dok u kontinentalnom dijelu Hrvatske ona iznosi od 1000 do 1100 kWh po instaliranom kWp snage.

U Hrvatskoj je godišnji prirodni potencijal sunčeve energije mnogo veći od ukupne godišnje potrošnje energije. Čak je i stvarna vrijednost dozračene sunčeve energije veća od potrebne. Stvarna vrijednost dozračene sunčeve energije ovisi o zemljopisnoj širini i smanjuje se od juga prema sjeveru te ovisi o klimatskim uvjetima lokacije, kao što su učestalost naoblake, sumaglice i dr. S obzirom na izrazitu sezonsku ovisnost količine sunčeva zračenja, srednje dnevne vrijednosti ozračenosti kreću se od oko 1 kWh/m² u prosincu, do 7 kWh/m² u lipnju.



Slika 7. Prikaz ukupnog godišnjeg sunčeva zračenja u Hrvatskoj
(izvor: www.g4g.com.hr)

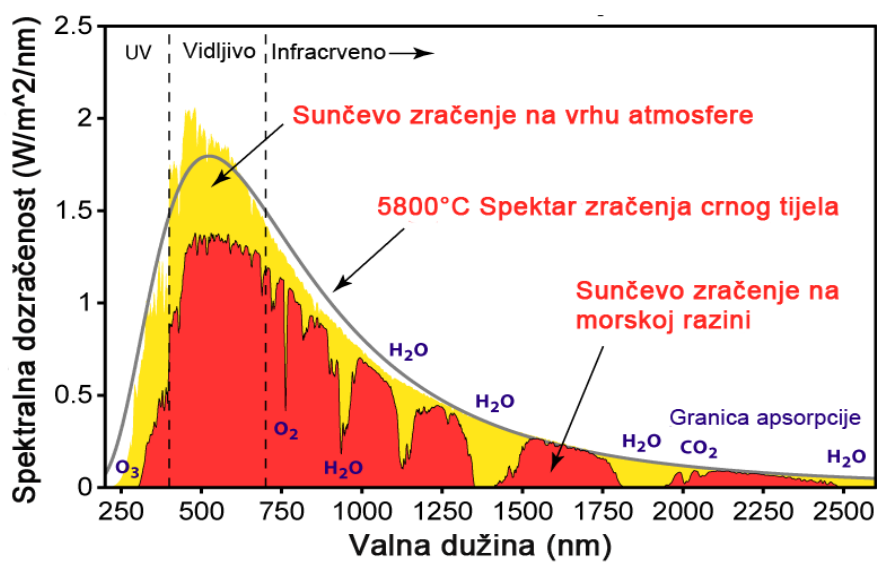
Prema prikazu, za područje Republike Hrvatske prosječna godišnja dozračena sunčeva energija kreće se oko 1,20 - 1,6 MWh/m², ovisno o tome je li riječ o kontinentalnom ili primorskom dijelu.

Hrvatska ima gotovo idealne insolacijske i klimatske uvjete za iskorištavanje sunčeve energije, ali ih ne iskorištava ni približno dovoljno. Područje srednje i sjeverne Europe ima znatno nepovoljnije klimatske uvjete za iskorištavanje sunčeve energije, ali je mnogo bolje iskorištava. Ohrabruje činjenica da ipak postoji trend porasta korištenja sunčeve energije u Hrvatskoj.

Hrvatska je tijekom '70-ih bila jedna od vodećih zemalja u Svijetu u promoviranju i istraživanjima iskorištenja sunčeve energije. Unatoč tome, danas primjerice Slovenija ima 2-3 puta više instaliranih kolektora od nas, dok Austrija čak više od 30 puta unatoč upola manjoj godišnjoj insolaciji.

1.5 Spektar sunčevog zračenja

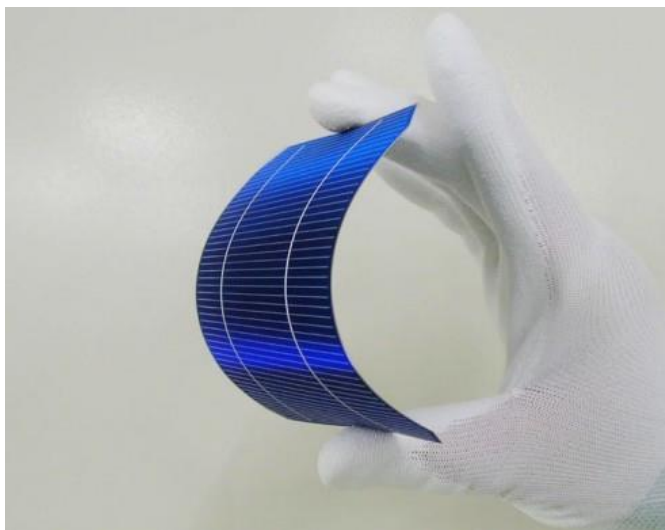
Spektar sunčevog zračenja obuhvaća radio-valove, mikrovalove, infracrveno zračenje, vidljivu svjetlost, ultraljubičasto zračenje, X-zrake i Y-zrake. Najveći dio energije pri tome predstavlja IC zračenje, vidljiva svjetlost te UV zračenje. U spektru je njihov udio sljedeći: 40% čini IC zračenje, 10% UV zračenje, a 50% vidljiva svjetlost.



Slika 8. Spektar sunčevog zračenja (izvor: wikipedia.com)

PRETVARANJE SUNČEVOG ZRAČENJA U ELEKTRIČNU ENERGIJU FOTONAPONSKIM ĆELIJAMA

Solarna ćelija (zvana i fotonaponska ćelija) je poluvodički uređaj koji pretvara sunčevu energiju izravno u električnu pomoću fotoelektričnog efekta. Grupe ćelija tvore solarne module, poznate i kao solarni paneli ili fotonaponska ploča. Energija proizvedena solarnim modulima primjer je solarne energije. Ćelije se označavaju kao fotonaponske ćelije kada izvor svjetlosti nije nužno sunčeva svjetlost. One se koriste za detekciju svjetlosti ili drugih oblika elektromagnetskog zračenja blizu vidljivog spektra, na primjer detektori infracrvenog svjetla, ili mjerenje intenziteta svjetlosti.



Slika 9. Prikaz solarne ćelije (izvor: www.thecoolgadgets.com)

U literaturi s engleskog govornog područja za fotonaponsku pretvorbu upotrebljava se izraz *photovoltaic*, skraćeno PV. Termin *photovoltaic* prvi put je upotrijebljen potkraj 19. stoljeća, a nastao je spajanjem grčke riječi *photo* (svjetlo) i riječi *volt* (po Alessandru Volti), što u doslovnom prijevodu znači “struja iz svjetla” i upravo takav prijevod najbolje opisuje princip rada fotonaponskih ćelija.

Prema kvantnoj fizici, svjetlost ima dvojni karakter, ona je čestica i val. Čestice svjetlosti nazivaju se fotoni. Kad fotoni pogode fotonaponsku ćeliju, mogu se odbiti od nje, proći izravno kroz nju ili biti apsorbirani, tj. upijeni. Samo apsorbirani fotoni daju energiju za oslobađanje elektrona i proizvodnju električne struje, odnosno za fotonaponski efekt.

1.6 Povijest fotonaponskih ćelija

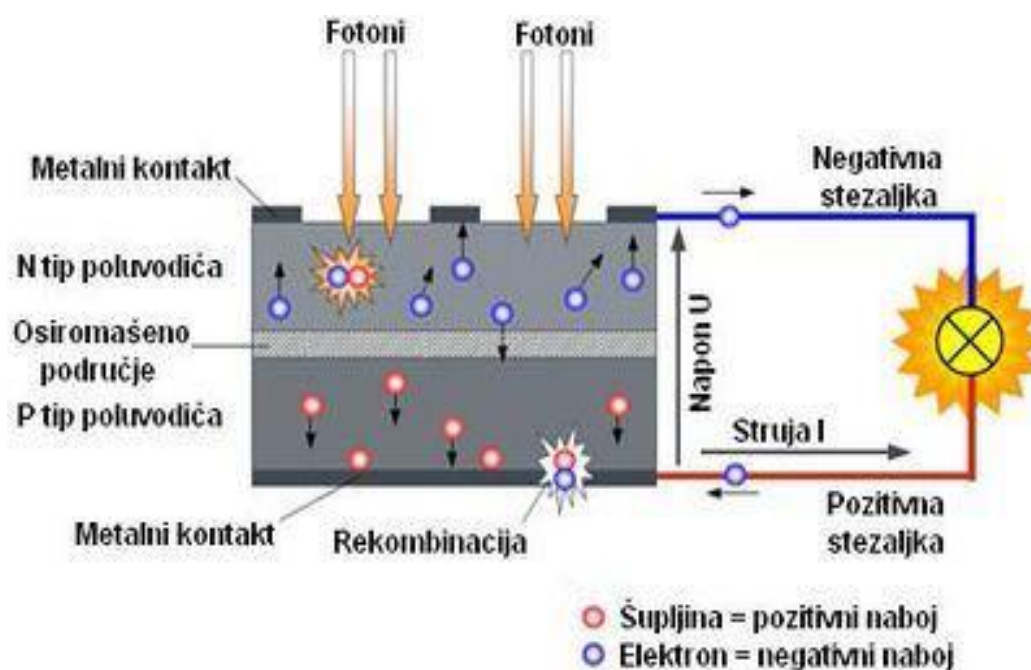
Razvoj fotonaponskih ćelija počinje 1839. istraživanjem francuskog fizičara Edmonda Becquerela. On je primjenio fotonaponski efekt. Nedugo nakon Becquerel-ovog otkrića, točnije 1870. godine Hertz je proučavajući selen (Se) uspio ostvariti pretvorbu svjetla u elektricitet efikasnosti oko 1%. Nakon navedenih otkrića počinje razvoj solarnih ćelija, te su preglednosti radi važniji događaji prikazani u vremenskom slijedu:

- 1883. godine američki izumitelj Charles Fritts opisao je prvu sunčevu (PV) ćeliju načinjenu od selena kao vodiča sa vrlo tankim slojem zlata.
- 1905. godine fizičar Albert Einstein objavio je znanstveni dokaz fotonaponskog efekta, ali i teoriju relativnosti.
- 1916. godine Robert Millikian pružio je eksperimentalni dokaz fotonaponskog efekta.
- 1918. godine poljski znanstvenik Jan Czochralski otkrio je način proizvodnje čistog silicija (Si), a koji je uspio proizvesti tek nakon 1950.
- 1954. godina smatra se početkom fotonaponske tehnologije. Naime, te godine su tri američka znanstvenika (Pearson, Fuller i Chapin) razvili prvu PV ćeliju koja je mogla generirati upotrebljivu količinu energije (efikasnosti oko 4 %).
- 1958. počinje upotreba PV tehnologije u svemirskom programu SAD-a.

1.7 Fotonaponski efekt

Posebno iskonstruiran i dizajniran oblik PN spoja, koji omogućuje prostorno padanje svjetla na što veću njegovu površinu, pri čemu fotoni ulaskom u materijal PN spoja prijenosom svoje energije "oslobađaju" slobodne nosioce naboja, elektrone i šupljine, naziva se fotonaponska ćelija. Pojava kojom se "oslobađaju" slobodni nosioci naboja pod djelovanjem svjetlosti te stvaranje električnog toka naziva se **fotonaponski efekt**.

Fotonaponski efekt, odnosno generiranje istosmjerne električne struje u poluvodičkom materijalu prilikom izlaganja svjetlosti otkrio je Becquerel 1839. godine. Ovo otkriće je osnova današnjem korištenju fotonaponskih sustava i proizvodnji električne energije iz energije sunčevog zračenja.



Slika 10. Prikaz fotoelektrične konverzije u PN spoju
(izvor: www.wikipedia.com)

Na slici 10. prikazan je fotonaponski efekt: Kada fotoni pogode fotonaponsku ćeliju oni se mogu reflektirati, proći direktno kroz nju ili biti apsorbirani. Samo apsorbirani fotoni daju energiju za proizvodnju električne struje. Kada poluvodič apsorbira dovoljno svjetla elektroni se istiskuju iz atoma materijala, sele se prema gornjem, negativnom kontaktu ćelije dok se istovremeno šupljine kreću u suprotnom smjeru prema donjem, pozitivnom kontaktu ćelije gdje očekuju elektrone. Napon na vanjskim kontaktima PN spoja može se povezati sa potrošačima pri čemu će se stvarati naboj i teći DC struja sve dok postoji upadni tok svjetlosti.

TEHNOLOGIJE PROIZVODNJE SOLARNIH ČELIJA

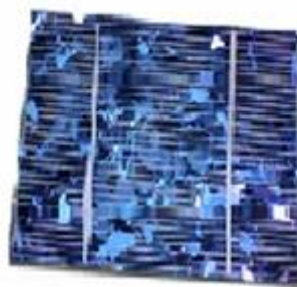
Najčešće korišteni materijali za proizvodnju solarnih ćelija su monokristalni silicij, polikristalni silicij i tankoslojni materijali.

Solarne ćelije u tehnologiji kristalnog silicija sastoje se od dva sloja poluvodičkog materijala, s tiskanim metalnim vezama koje služe za prikupljanje generiranih nositelja naboja (električne struje). Generirani napon jedne ćelije iznosi oko 0,5 V pa se ćelije spajaju serijski unutar zaštitnog „sendviča“ od kaljenog prizornog stakla i plastike u fotonaponski modul. Fotonaponski moduli s kristalnim silicijskim ćelijama dominiraju tržištem, budući da imaju visoku učinkovitost i dugi vijek trajanja.

Fotonaponske ćelije od kristala silicija se izvide u više morfoloških oblika, kao monokristalne i polikristalne. Za proizvodnju monokristalnih Si ćelija potreban je apsolutno čisti poluvodički materijal. Monokristalni štapići se izvide iz rastaljenog silicija i režu na tanke pločice. Takav način izrade omogućuje relativno visoki stupanj iskoristivosti. Ovaj tip fotonaponske ćelije proizvodi više električne energije od polikristalnih Si ćelija. Proizvodnja polikristalnih Si ćelija je ekonomski efikasnija u odnosu na monokristalne. Tekući silicij se ulijeva u blokove koji se zatim režu u ploče. Tijekom skrućivanja materijala stvaraju se kristalne strukture različitih veličina na čijim granicama se pojavljuju greške, zbog čega solarna ćelija ima manju iskoristivost.



Monokristalna
solarna ćelija



Polikristalna
solarna ćelija

Slika 11. Predodžba monokristalne i polikristalne solarne ćelije

(izvor: www.solvis.hr)

Tankoslojni moduli izvode se deponiranjem (taloženjem) tankog sloja poluvodičkog materijala na glatku homogenu površinu (staklo, metal, čak i fleksibilne plastike). Proces deponiranja daje tankoslojnim modulima gladak crni izgled. Iako tankoslojni moduli imaju nižu učinkovitost od kristaličnih ćelija, njihova proizvodnja zahtjeva manje materijala te su generalno gledajući jeftiniji. Tankoslojni moduli se posebno dobro uklapaju u fasade i krovove industrijskih zgrada, kao i na druga mjesta gdje moraju biti pokrivene velike površine.

Jedna od tankoslojnih tehnologija, koje se sve intenzivnije istražuju je tehnologija proizvodnje sunčanih ćelija od amorfnog silicija. Proizvodnja je relativno jednostavna, zasniva se na nanošenju tankog sloja silicija u amorfnom stanju na podlogu. Debljina sloja iznosi manje od 1 μm , stoga su troškovi proizvodnje manji u skladu sa niskom cijenom materijala. Međutim iskoristivost amorfni ćelija je puno niža u usporedbi s drugim tipovima ćelija.



Slika 12. Tankofilmna solarna ćelija (izvor: homenergy.net)

1.8 Tehnologije sunčanih ćelija

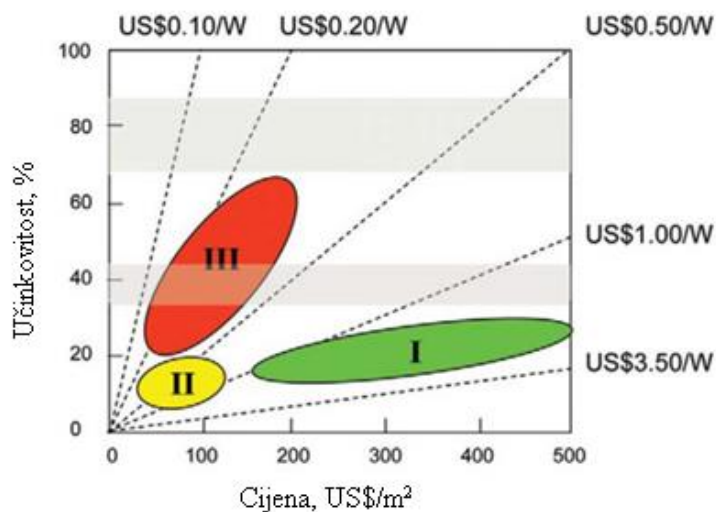
U ovom poglavlju biti će naznačene sve tri generacije fotonaponskih ćelija koje se izrađuju u velikim količinama kao primjenjene tehnologijski i cjenovno tržištu. Četvrta generacija nema industrijsku primjenu jer je još u fazi istraživanja efikasnosti fotonaponske pretvorbe i optimiziranja u tehnološkom i cjenovnom smislu.

Prvu generaciju čine ćelije od monokristalnog silicija (c-Si), i polikristalnog silicija (pc-Si). Oba materijala su gotovo 100 % silicij ali je razlika u kristaličnoj strukturi odnosno u atomskom rasporedu. Polikristalni silicij sastoji se od velikih kristalnih zrna od par stotina mikrometara do par milimetara.

Druga generacija su tankoslojne solarne ćelije. Tu grupu čine: Amorfni silicij (a-Si), Kadmij-telurid (CdTe), Bakar-indij-galij selenid (CIGS)

Treću generaciju čine: Amorfno - nanokristalne sunčane ćelije, Fotoelektrokemijske (PEC) ćelije -Graetzlove ćelije, Polimerske sunčane ćelije, Sunčane ćelije sintetizirane u premazu (DSSC)

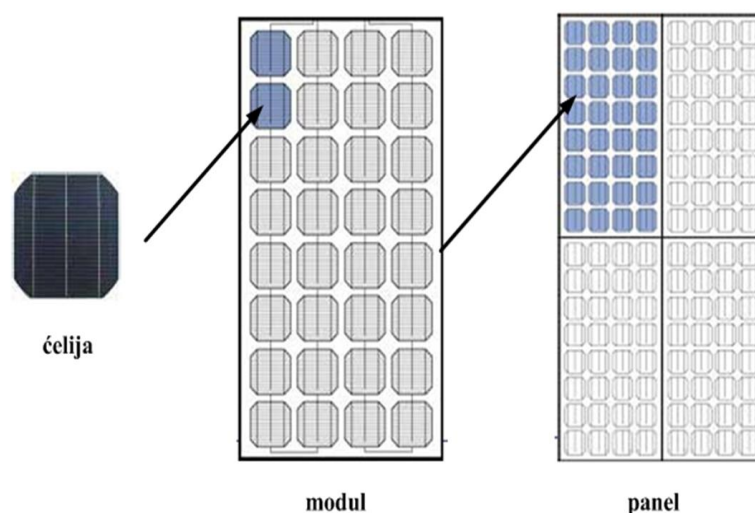
Četvrta generacija su hibridne – anorganske sunčane ćelije s polimerskom matricom



Slika 13. Omjer cijene i učinkovitosti generacija sunčanih ćelija
(izvor: www.intechopen.com)

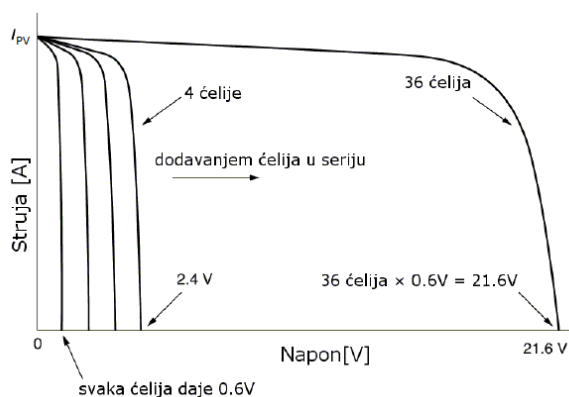
FOTONAPONSKI SUSTAVI

Snaga pojedinačne FN ćelije je mala (do 2 W), pa se kao takva ne bi mogla šire koristiti. Zbog toga se FN ćelije mehanički i električno vežu u veće cjeline koje se nazivaju moduli. U cilju dobivanja još većih snaga, moduli se po istom principu vežu u tzv. fotonaponske panele, čije snage idu i do reda MW (Slika 14).



Slika 14. Prikaz FN ćelije, modula i panela (izvor: www.cyberparent.com)

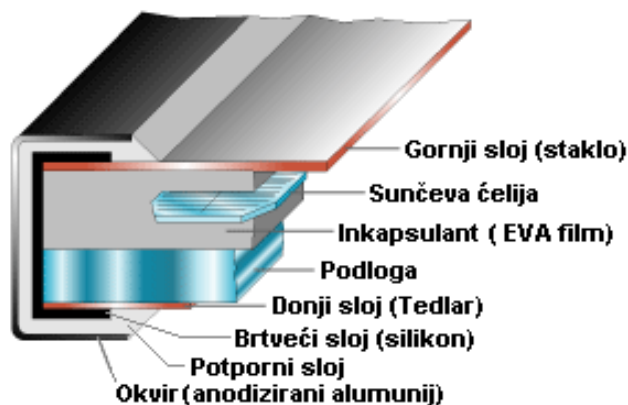
Pojedinačne fotonaponske ćelije povezuju se serijski, paralelno ili najčešće kombinacijom oba načina. Time se postiže željena vršna snaga (npr. 75, 100, 120 W) i radni napon modula (obično 12 ili 24 V). Pakiranje fotonaponskih ćelija u veće tzv. fotonaponske module provodi se i zbog osiguravanja zaštite od atmosferskih i fizičkih oštećenja. Današnji vijek trajanja FN modula je preko 25 godina.



Slika 15. I-U karakteristika serijskog spoja FN ćelija (izvor: www.schrack.hr)

Fotonaponski se paneli kao i fotonaponske ćelije mogu spajati u seriju kako bi se povećao napon ili u paralelu kako bi se povećala struja. Fotonaponska polja obično su sastavljena od kombinacije serijski i paralelno spojenih panela kako bi se povećala snaga.

Tipični fotonaponski modul sačinjen od kristalnog silicija (c-Si ili p-Si) sastoji se od transparentnog gornjeg sloja, inkapsulanta, donjeg sloja te okvira, prikazano na slici 16.



Slika 16. Poprečni presjek FN modula sačinjenog od kristalnog silicija
(izvor: www.homepower.com)

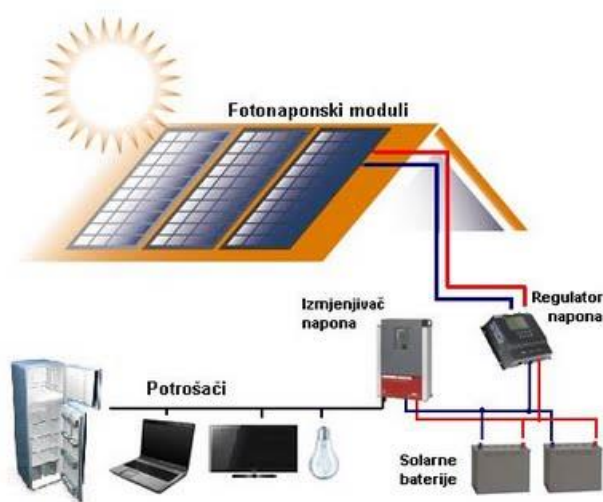
Gornji sloj fotonaponskog modula mora imati visoki stupanj transparentnosti, biti otporan na vodu, tuču te biti stabilan kada je duže vremena izložen ultraljubičastom zračenju. Materijal koji se najčešće koristi za izradu gornjeg sloja FN modula je kaljeno staklo. Inkapsulant služi kao zaštita sunčeve ćelije od vanjskih utjecaja, ali i kao poveznica gornjeg sloja, ćelije i donjeg sloja. Inkapsulant mora biti visoko transparentan te stabilan pri visokim temperaturama i visokim razinama ultraljubičastog zračenja. Materijal koji se najčešće koristi za izradu inkapsulanta je *ethylene vinyl acetate*, odnosno EVA film, koji se prilikom zagrijavanja polimezira te učvršćuje konstrukciju FN modula. Donji sloj FN modula je tanki polimerni film koji ima dobru otpornost protiv vode i korozije, najčešće tedlar. Tako izrađeni FN modul uramljuje se u aluminijski okvir čime se postiže robusnost te mogućnost praktičnog i jednostavnog postavljanja na nekakvu površinu.

1.9 Vrste solarnih fotonaponskih sustava

Solarni fotonaponski sustavi (FN), ovisno o načinu rada, mogu se podijeliti u tri skupine:

- samostalni, za čiji rad nije potrebna javna elektroenergetska mreža
- mrežni (pasivni i aktivni), spojeni na javnu elektroenergetsku mrežu
- hibridni, koji su zapravo samostalni, povezani s drugim (obnovljivim) izvorima

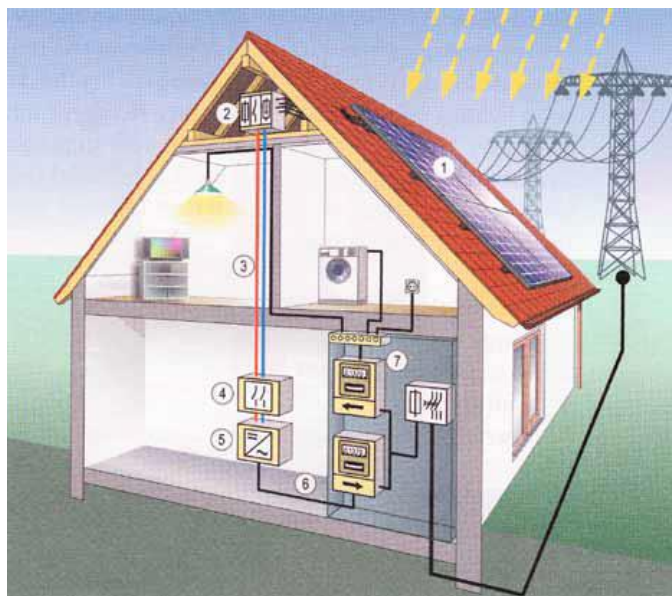
Samostalni sustavi za svoj rad ne zahtijevaju spoj na električnu mrežu. Najčešće se koriste na mjestima gdje, zbog bilo kojih razloga, nije moguće izgraditi električnu mrežu, ili ta izgradnja nije ekonomična. Samostalni sustavi imaju svoje nedostatke, a i prednosti. Jedna od osnovnih prednosti je da korisniku osigurava potpunu energetske neovisnost. Što se povrata investicije tiče, ako je priključak na mrežu skuplji od izgradnje fotonaponskog sustava, tada se investicija već u startu isplati, a čista dobit je što ubuduće neće trebati plaćati račune za električnu energiju. Kada kod njihove primjene električnu energiju treba isporučivati tijekom noći ili u razdobljima s malim intenzitetom sunčevog zračenja nužan je akumulator, tj. baterija koja služi kao spremnik električne energije.



Slika 17. Prikaz samostalnog fotonaponskog sustava za trošila na istosmjernu struju
(izvor: www.energis.ba)

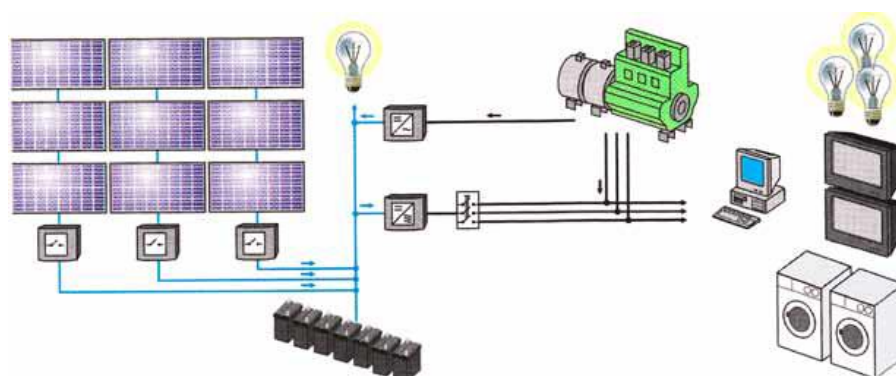
Mrežni pasivni FN sustavi električnu mrežu koriste samo uvjetno, u razdobljima kada FN moduli ne mogu proizvesti dovoljne količine električne energije, npr. noću kada su istodobno akumulatori električne energije prazni. Takvi sustavi se u današnje vrijeme sve rjeđe susreću u praksi zato što nisu ekonomski isplativi zbog dodatnih periodičkih troškova, jer akumulatorske baterije treba mijenjati svakih nekoliko godina.

Mrežni aktivni FN sustavi mrežu koriste interaktivno, uzimajući energiju iz mreže u slučaju većih potreba ili vraćajući je u slučaju viškova električne energije proizvedene u FN modulima. Ovisno o načinu spajanja, ovakvi sustavi mogu svu proizvedenu energiju iz fotonaponskih modula isporučivati izravno u mrežu, ili je isporučivati samo ukoliko postoji višak nakon zadovoljavanja lokalne potrošnje.



Slika 18. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije
(izvor: Ljubomir Majdandžić: Fotonaponski sustavi [Priručnik])

Hibridni FN sustavi nastaju povezivanjem samostalnih izvora s drugim, alternativnim izvorima električne energije, kao što su vjetroagregati, pomoćni plinski ili dizelski agregati. Takva rješenja daju veću sigurnost i raspoloživost isporuke električne energije te omogućavaju manje kapacitete akumulatora kao spremnika električne energije. Kod rješenja koja koriste plinske i dizelske agregate sustavi se dimenzioniraju tako da se agregati koriste optimalan broj sati u godini čime se štedi gorivo, smanjuju troškovi održavanja i produžuje vijek trajanja.



Slika19. Shema samostalnoga hibridnog fotonaponskog sustava s generatorom
(izvor: Ljubomir Majdandžić: Fotonaponski sustavi [Priručnik])

Na slici 19. prikazana je shema samostalnog hibridnog fotonaponskog sustava s generatorom za napajanje trošila na istosmjernu (DC) ili izmjeničnu struju (AC). Kod tih sustava se električnom energijom proizvedenom solarnim modulima ili vjetroagregatom, prvotno napajaju trošila, a višak energije se pohranjuje u tzv. solarne akumulatore. U slučaju da ne postoje uvjeti za proizvodnju električne energije solarnim modulima ili vjetroagregatom, izvor za napajanje istosmjernih ili izmjeničnih trošila će biti akumulator. U slučaju da ni akumulator više nema energije za napajanje trošila, uključuje se generator na dizel ili biodizel gorivo.

IZVOĐENJE FOTONAPONSKIH SUSTAVA

Za izvođenje autonomnih fotonaponskih sustava valja poštovati nekoliko osnovnih smjernica kako bi se ostvario njihov pouzdan rad i izbjegli problemi do kojih može doći pri izvođenju radova na njima i njihovom kasnijem radu.

Kod izvođenja autonomnih sustava, a posebice onih koji nemaju pričuveni izvor napajanja, iznimno je važno omogućiti što dulji i kvalitetniji rad solarnog generatora. To znači da FN moduli moraju biti postavljeni tako da su što više izloženi svjetlosti, odnosno sunčevom zračenju. Optimalnim postavljanjem modula na području Hrvatske smatra se njihova orijentacija prema jugu i nagib u odnosu na plohu na kojoj se nalaze:

- 50 – 60° za sustave koji rade cijele godine (tzv. zimski kut)
- 10 - 15° za sustave koji rade samo po ljeti

Pri postavljanju modula veliku pozornost treba posvetiti onemogućavanju zasjenjenja od susjednih zgrada i drugih objekata, raslinja i sl. U skladu s time, pri odabiru mjesta za postavljanje modula u obzir treba uzeti sljedeće:

- Zasjenjenje modula tijekom jutarnjih i/ili večernjih sati u pravilu nema značajnijeg utjecaja na njihov rad
- Zasjenjenje modula u vremenu oko podne nipošto nije prihvatljivo i u tom slučaju svakako treba odabrati drugo mjesto postavljanja
- U razdoblju od listopada do ožujka moduli bi u vremenu oko podne morali biti bez ikakvog zasjenjenja najmanje 4 sata, a ako to nije moguće, treba odabrati drugo mjesto postavljanja.

Moduli se mogu postavljati na krov (ravni ili kosi), nadstrešnicu, pročelje zgrade, na tlo ili bilo koju drugu prikladnu plohu. Najprikladnijim se smatra postavljanje na kosi krov ili nadstrešnicu s nagibom 35°. Manja odstupanja od tog nagiba su prihvatljiva. Kod postavljanja na krovove ili nadstrešnice čiji je nagib mnogo veći ili manji od 35°, na ravni krov ili druge ravne plohe, moduli se mogu postaviti na posebne nosače od aluminijskih ili pocinčanih čeličnih profila.

Pri postavljanju više redova modula, valja voditi računa o njihovom razmaku kako ne bi došlo do međusobnog zasjenjivanja. Najmanji potrební razmak određuje se jednađbom:

$$a_{RM} = l_{FNM} \times \left(\frac{\sin \beta}{\tan \alpha_S} + \cos \beta \right), \quad (1)$$

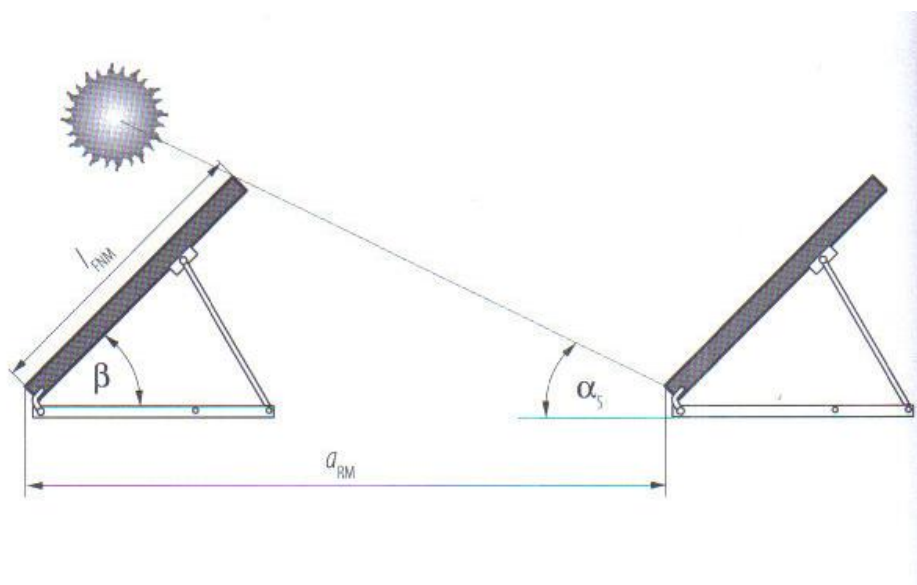
pri čemu su:

a_{RM} - međusobni razmak redova modula, m

l_{FNM} - duljina modula, m

β - nagib modula u odnosu na vodoravnu plohu, °

α_S - visina Sunca, °



Slika 20. Određivanje međusobnog razmaka redova FN modula
(izvor: Boris Labudović: Osnove primjene fotonaponskih sustava, Zagreb, veljača 2011.)

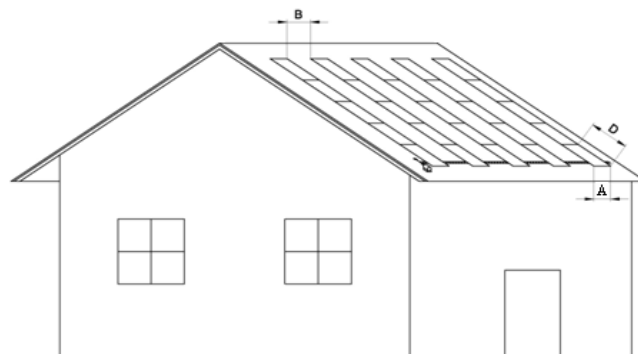
KONSTRUKCIJA JEDNOOSNOG KROVNOG NOSAČA FN PANELA

U ovom završnom radu navodi se način postavljanja solarnih panela odnosno sustava na kosi krov obiteljske kuće. Ideja i osnovna vodilja poboljšane konstrukcije opisane u ovom radu bila je osmisлити i konstruirati nosač FN panela sa zakretom oko jedne osi. Solarni paneli tada imaju mogućnost zakretanja tako da ni u jednom trenutku jedan drugome ne stvaraju sjenu kako bi iskoristivost bila što veća. Paneli se postavljaju na aluminijske profile koji omogućuju zakretanje modula. Isto tako, u svrhu dokaza poboljšanja konstrukcijskog rješenja u odnosu na fiksni sustav napravljena je komparacija podataka o iskoristivosti sunčeve energije krovnog FN sustava bez rotirajućeg postolja i sa rotirajućim postoljem. Svi podaci o klimatološkim podacima preuzeti su iz priručnika za energetska korištenje sunčevog zračenja: "Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske" (izdanje Energetskog instituta Hrvoje Požar) i sa službenih stranica Veleučilišta u Karlovcu iz projekta "Sunčana elektrana Veleučilišta u Karlovcu".

1.10 Instalacija FN sustava sa rotirajućim postoljem

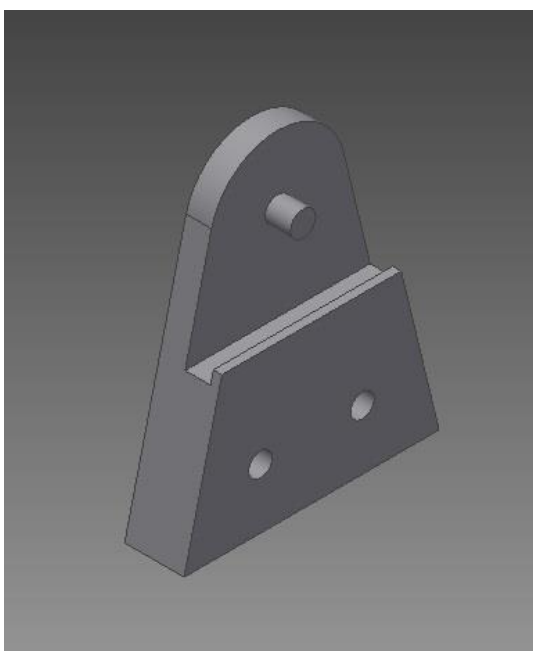
Kako su do sada navedeni FN sustavi sa fiksnim pločama, u ovom dijelu biti će detaljnije opisan idejni inovativni sustav tj. sustav sa rotirajućim postoljem, koje omogućava zakretanje nekoliko ploča koje se nalaze postavljene na aluminijski okvir. Broj FN ploča je proizvoljan a može biti do cca 10 komada ovisno o dimenzijama krova i samih panela. Ploče bi se zakretale do maksimalno $\pm 30^\circ$, uz podatak da bi razmak među pločama trebao biti dovoljan da ploče jedna drugoj ne prave sjenu ni u jednom dijelu dana. Kada bi se postigli takvi uvjeti iskoristivost bi se zasigurno povećala za minimalno 12-15%, a možda i više.

Na slici 21. prikazana je kuća sa nekoliko redova FN modula na krovu. Ploče su postavljene na aluminijski okvir koji je vezan na zupčastu letvu, kojom se putem elektromotora omogućava zakretanje cijelog sustava u obje strane. Dimenzije zadanih modula su sljedeće: A = 600 mm (širina solarnog modula), B = 600 mm (širina razmaka između dva modula), D = 1200 mm (duljina solarnog modula)

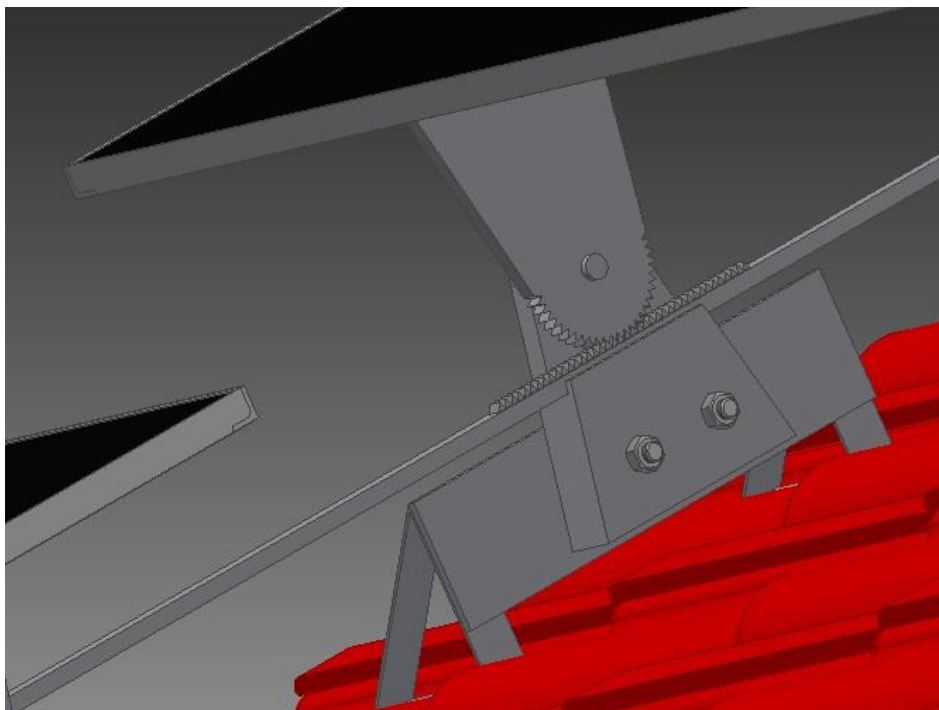


Slika 21. Prikaz krovnog FN sustava (izvorno)

Na slici 22. prikazan je krovni nosač FN sustava koji ima tri funkcije. Služi kao nosač zupčaste letve i nosač FN modula, te se ujedno preko njega cijeli sustav instalira na krovnu plohu preko snjegobrana. Uz pomoć te instalacije vrši se zakretanje cijelog sustava kako je prikazano na slici 24. Sustav se povezuje sa jednim rotacijskim step motorom. Step motor se instalira na početku krova postavljen u ravninu zupčaste letve (Slika 26.). Upravljanje motorom moguće je mikrokontrolerom i programom koji uzima u obzir dnevni položaj Sunca na horizontu i poznati kut zraka na ravnu podlogu. Podaci i parametri potrebni za izradu programa i određivanje zakterne vrijednosti motora nisu predmet ovog rada.



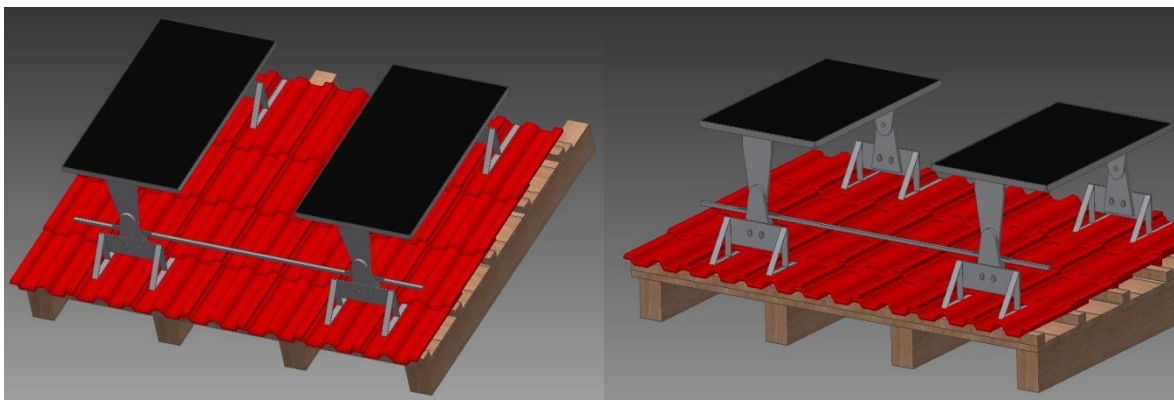
Slika 22. Predodžba krovnog nosača FN sustava (izvorno)



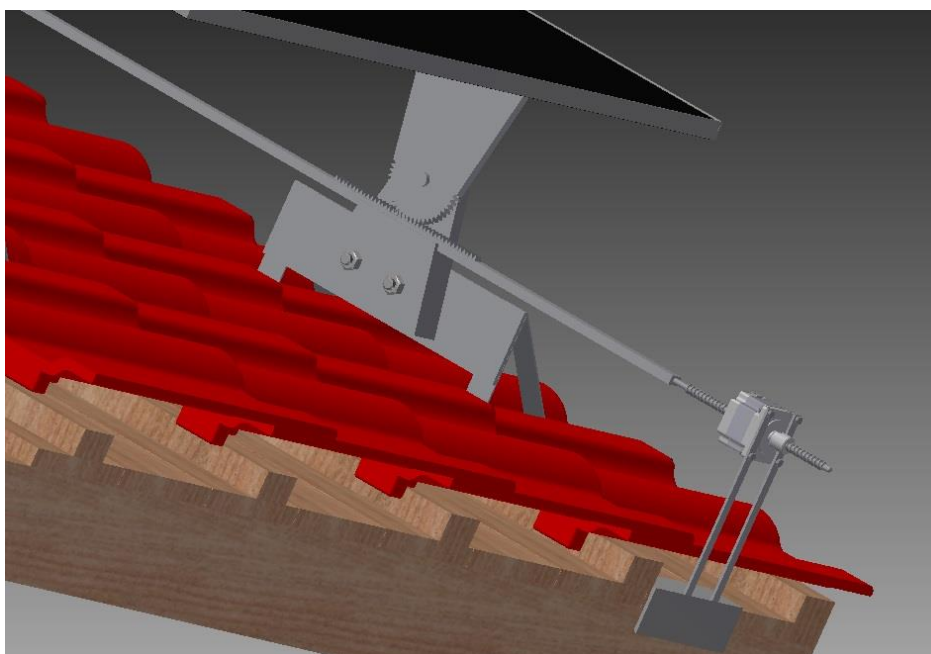
Slika 23. Predodžba krovnog nosača – detalj spoja nosača i letve (izvorno)



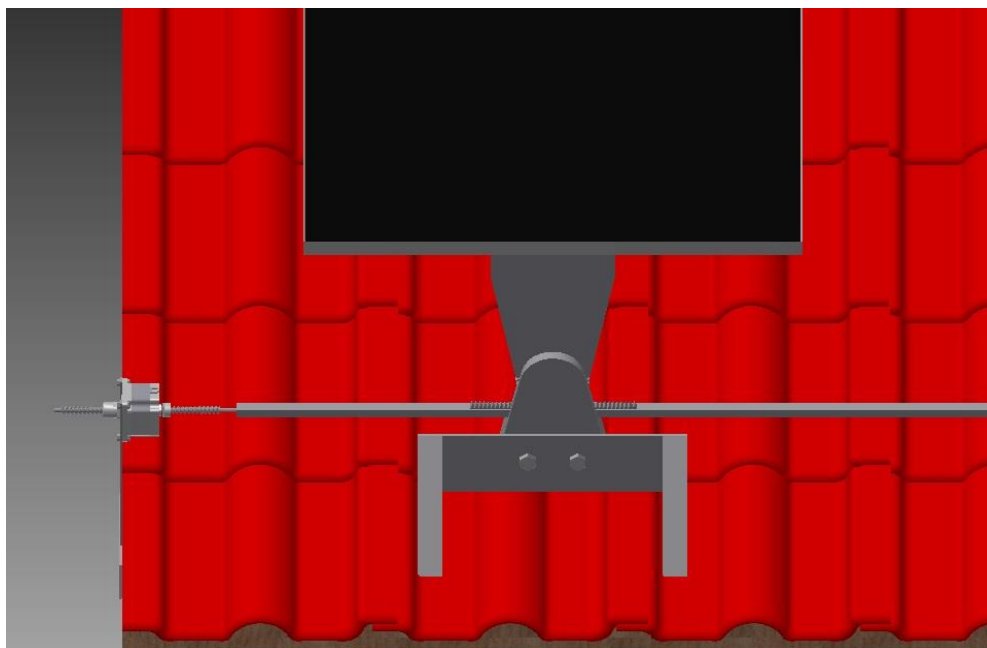
Slika 24. Predodžba zakreta solarnog sustava za 30° (izvorno)



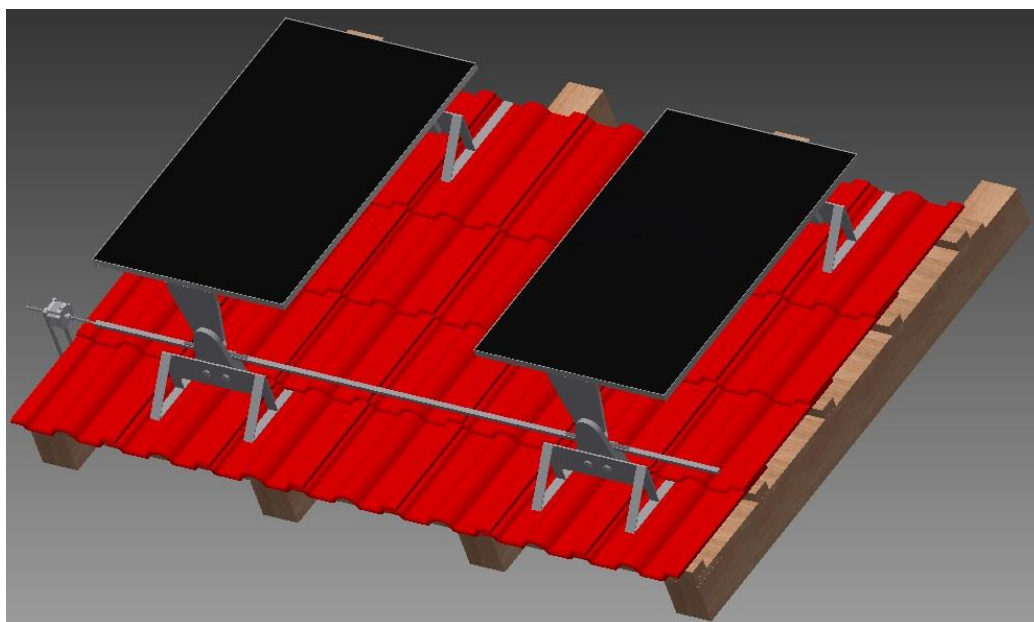
Slika 25. Predodžba položaja FN sustava na krovu (izvorno)



Slika 26. Predodžba detalja - pogonski step motor (izvorno)



Slika 27. Predodžba step motor na krovu (izvorno)



Slika 28. Predodžba FN sustava sa step motorom (izvorno)

1.11 Komparacija podataka za rotirajući i fiksni FN sustav

Kako je prije u tekstu navedeno, osim inovativne konstrukcije potrebno je proračunati ili odrediti na neki drugi način moguće poboljšanje korištenjem tako konstruiranog rješenja. Vrlo je teško točno i precizno odrediti o kojoj se dobiti radi, ali je moguće pretpostaviti dobitak obzirom na druga mjerenja koja su opisana u literaturi. Prema tome komparacija podataka za rotirajući i fiksni FN sustav prikazana je primjerice za grad Karlovac kroz nekoliko mjeseci: svibanj, lipanj, srpanj i kolovoz, tj. četiri mjeseca u kojima je sunčevo zračenje najintenzivnije. Za svaki primjer odabran je jedan dan iz mjeseca u kojem je provedeno praćenje mjerenja. Mjerenje je provedeno u vremenskom razdoblju od 6 do 20 sati. Osnovni podaci koji su poslužili kao matrica za komparaciju stvarni su podaci FN sustava instaliranog na krovu jedne zgrade Veleučilišta u Karlovcu. Isti su preuzeti sa službenih stranica Veleučilišta u Karlovcu iz projekta "Sunčana elektrana Veleučilišta u Karlovcu".

Primjer 1

U primjeru 1 opisana je komparacija podataka za fiksni i rotirajući FN sustav 17. dana mjeseca svibnja. Svi podaci mogu se iščitati iz tablice 3. i pripadajućih grafova.

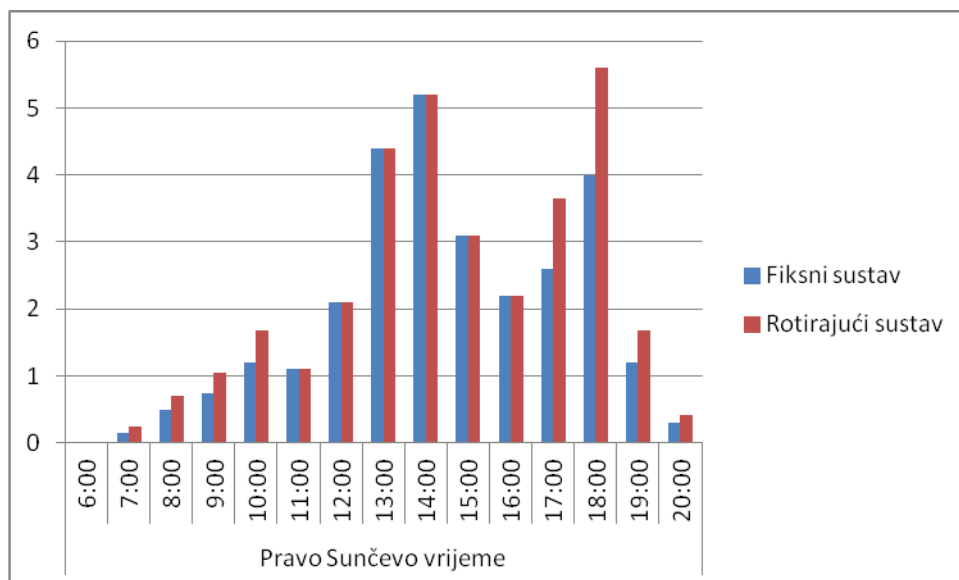
Tablica 3. Dobit električne energije u kWh za 17.05.2014. fiksnog i rotirajućeg FN sustava

17.05.2014.		
Sati	Fiksni sustav	Rotirajući sustav
6:00	0	0
7:00	0,15	0,25
8:00	0,5	0,7
9:00	0,75	1,05
10:00	1,2	1,68
11:00	1,1	1,1
12:00	2,1	2,1
13:00	4,4	4,4
14:00	5,2	5,2
15:00	3,1	3,1
16:00	2,2	2,2
17:00	2,6	3,64
18:00	4	5,6
19:00	1,2	1,68
20:00	0,3	0,42

(izvorno)

Graf 1. Prikazuje dobit električne energije sunčevog zračenja u kWh 17.05.2014. za fiksni i rotirajući sustav

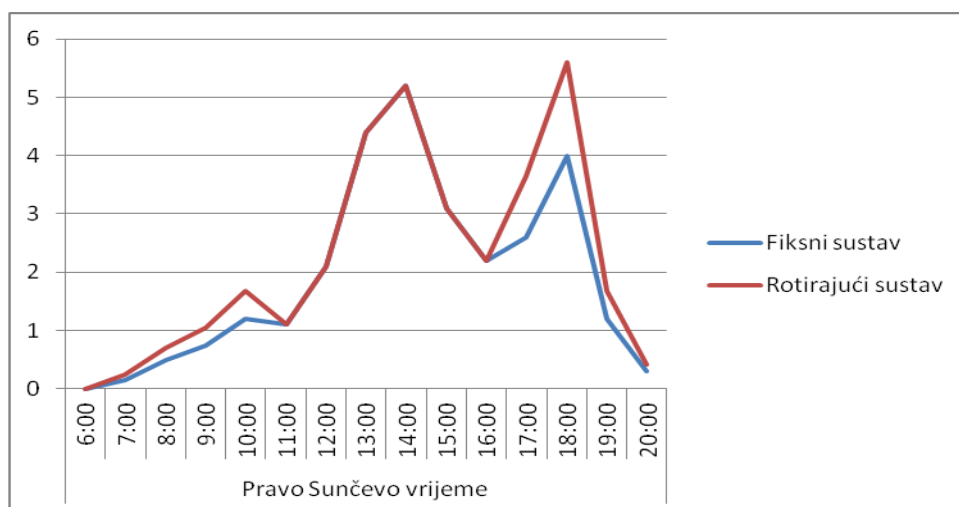
Graf 1. Dobit električne energije za 17.05.2014.



(izvorno)

Graf 2. Prikazuje krivulju iskoristivosti za oba sustava. Iz krivulje se može zaključiti da rotirajući sustav daje do 40% više električne energije u vremenu od 7:00 do 11:00 sati i od 17:00 do 20:00 sati

Graf 2. Krivulje iskoristivosti sunčevog zračenja za 17.05.2014.



(izvorno)

Primjer 2

U primjeru 2 opisana je komparacija podataka za fiksni i rotirajući FN sustav 13. dana mjeseca lipnja. Svi podaci mogu se iščitati iz tablice 4. i pripadajućih grafova.

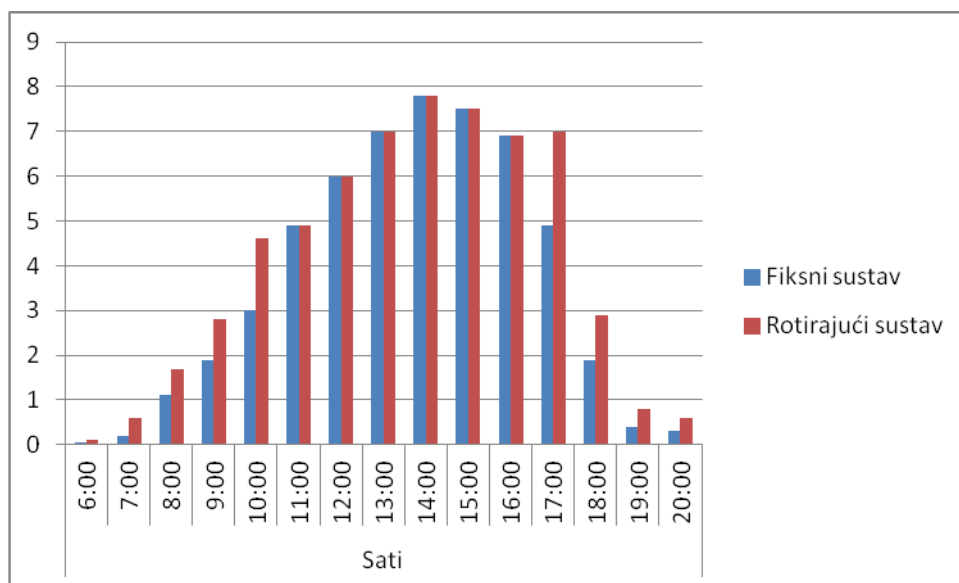
Tablica 4. Dobit električne energije u kWh za 13.06.2014. fiksnog i rotirajućeg FN sustava

13.06.2014.		
Sati	Fiksni sustav	Rotirajući sustav
6:00	0,05	0,1
7:00	0,2	0,6
8:00	1,1	1,7
9:00	1,9	2,8
10:00	3	4,6
11:00	4,9	4,9
12:00	6	6
13:00	7	7
14:00	7,8	7,8
15:00	7,5	7,5
16:00	6,9	6,9
17:00	4,9	7
18:00	1,9	2,9
19:00	0,4	0,8
20:00	0,3	0,6

(izvorno)

Graf 3. Prikazuje dobit električne energije sunčevog zračenja u kWh 13. lipnja 2014. za fiksni i rotirajući sustav

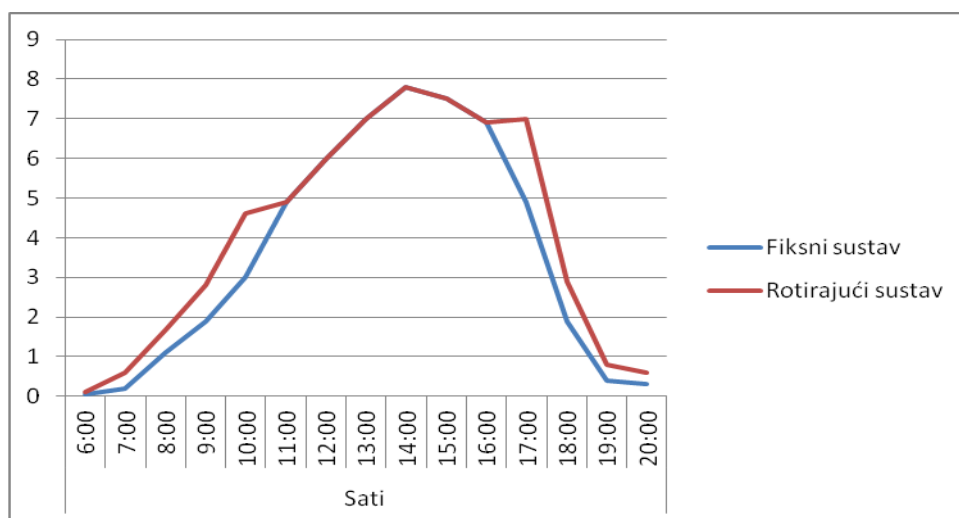
Graf 3. Dobit električne energije za 13.06.2014.



(izvorno)

Graf 4. Prikazuje krivulju iskoristivosti za oba sustava. Iz krivulje se može zaključiti da rotirajući sustav daje do 40% više električne energije u vremenu od 7:00 do 11:00 sati i od 17:00 do 20:00 sati

Graf 4. Krivulje iskoristivosti sunčevog zračenja za 13.06.2014.



(izvorno)

Primjer 3

U primjeru 3 opisana je komparacija podataka za fiksni i rotirajući FN sustav 16. dana mjeseca srpnja. Svi podaci mogu se iščitati iz tablice 4. i pripadajućih grafova.

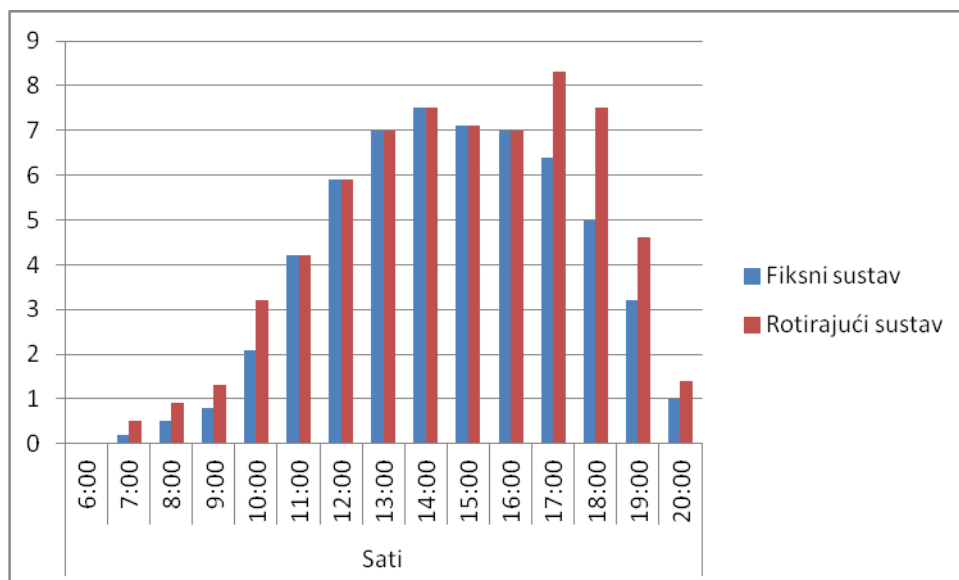
Tablica 5. Dobit električne energije u kWh za 16.07.2014. fiksnog i rotirajućeg FN sustava

16.07.2014.		
Sati	Fiksni sustav	Rotirajući sustav
6:00	0	0
7:00	0,2	0,5
8:00	0,5	0,9
9:00	0,8	1,3
10:00	2,1	3,2
11:00	4,2	4,2
12:00	5,9	5,9
13:00	7	7
14:00	7,5	7,5
15:00	7,1	7,1
16:00	7	7
17:00	6,4	8,32
18:00	5	7,5
19:00	3,2	4,6
20:00	1	1,4

(izvorno)

Graf 5. Prikazuje dobit električne energije sunčevog zračenja u kWh 16. srpnja 2014. za fiksni i rotirajući sustav

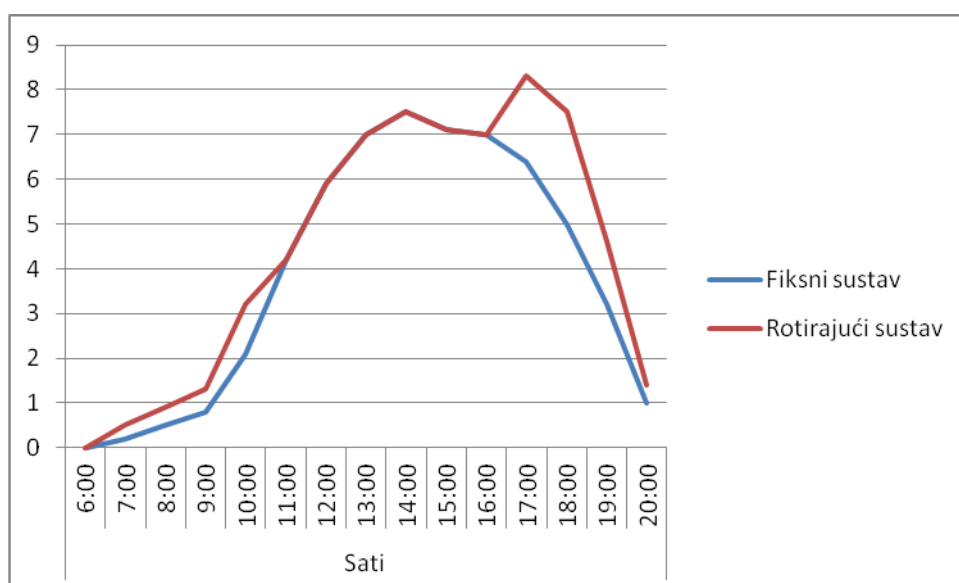
Graf 5. Dobit električne energije za 16.07.2014.



(izvorno)

Graf 6. Prikazuje krivulju iskoristivosti za oba sustava. Iz krivulje se može zaključiti da rotirajući sustav daje do 40% više električne energije u vremenu od 7:00 do 11:00 sati i od 17:00 do 20:00 sati

Graf 6. Krivulje iskoristivosti sunčevog zračenja za 16.07.2014.



(izvorno)

Primjer 4

U primjeru 4 opisana je komparacija podataka za fiksni i rotirajući FN sustav 17. dana mjeseca kolovoza. Svi podaci mogu se iščitati iz tablice 5. i pripadajućih grafova.

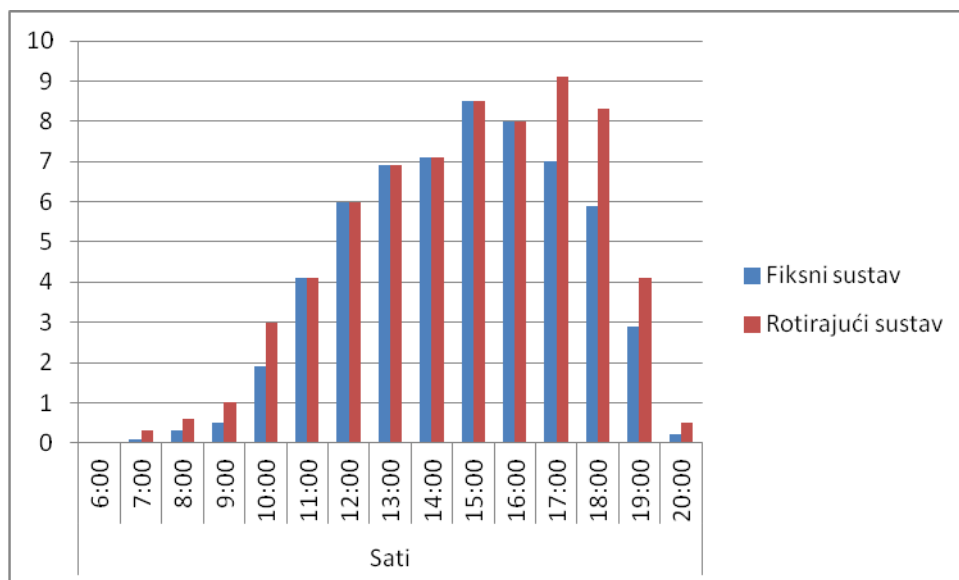
Tablica 6. Dobit električne energije u kWh za 17.08.2014. fiksnog i rotirajućeg FN sustava

17.08.2014.		
Sati	Fiksni sustav	Rotirajući sustav
6:00	0	0
7:00	0,1	0,3
8:00	0,3	0,6
9:00	0,5	1
10:00	1,9	3
11:00	4,1	4,1
12:00	6	6
13:00	6,9	6,9
14:00	7,1	7,1
15:00	8,5	8,5
16:00	8	8
17:00	7	9,1
18:00	5,9	8,3
19:00	2,9	4,1
20:00	0,2	0,5

(izvorno)

Graf 7. Prikazuje dobit električne energije sunčevog zračenja u kWh 17. kolovoza 2014. za fiksni i rotirajući sustav

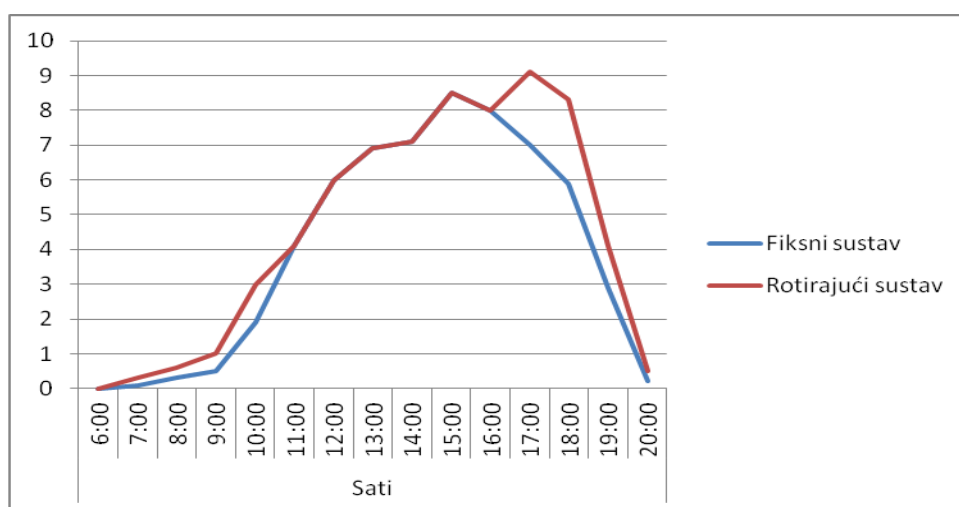
Graf 7. Dobit električne energije za 17.08.2014.



(izvorno)

Graf 8. Prikazuje krivulju iskoristivosti za oba sustava. Iz krivulje se može zaključiti da rotirajući sustav daje do 40% više električne energije u vremenu od 7:00 do 11:00 sati i od 17:00 do 20:00 sati

Graf 8. Krivulje iskoristivosti sunčevog zračenja za 17.08.2014.



(izvorno)

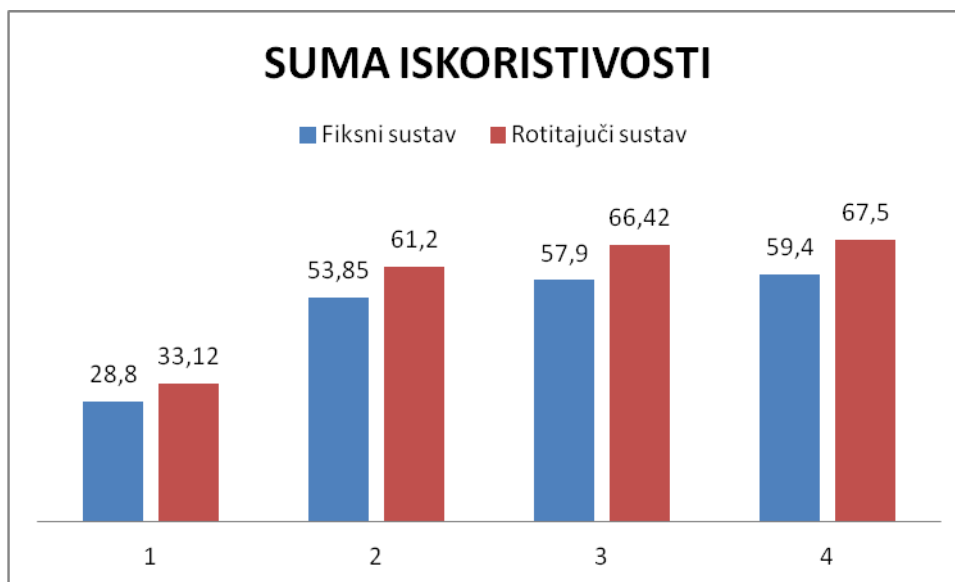
U tablici 7. prikazana je dobit svih kompariranih dana, za oba fotonaponska sustava. Iz tablice se može jasno iščitati da je ukupni dnevni prinos (kWh) rotirajućeg FN sustava veći od ukupnog dnevnog prinosa (kWh) fiksnog FN sustava.

Tablica 7. Usporedba iskoristivosti oba fotonaponska sustava (%)

	SUMA			
	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz
Fiksni sustav	28,8	53,85	57,9	59,4
Rotacijski sustav	33,12	61,2	66,42	67,5
Povećanje iskoristivosti FN panela (%)	15%	13,65%	14,70%	13,60%

(izvorno)

Graf 9. Suma ukupnog dnevnog prinosa (kWh) oba FN sustava



(izvorno)

ZAKLJUČAK

Današnji svijet je ovisan o električnoj energiji i gotovo je nezamislivo funkcionirati bez nje. Električnu energiju je moguće dobiti iz obnovljivih i neobnovljivih izvora. Problem neobnovljivih izvora je što polako nestaju iscrpljivanjem njihovih kapaciteta, te samim time postaju sve skuplja, i što je najtužnije stvaraju jako velika zagađenja okoliša. Obnovljivi izvori predstavljaju neiscrpan potencijal energije za budućnost. Među obnovljivim izvorima, Sunčeva energija se nameće kao jedan od najperspektivnijih izvora energije. Fotonaponski sustavi i solarne ćelije predstavljaju već dostupno rješenje za korištenje Sunčeve energije. Takvi sustavi izravno pretvaraju Sunčevo zračenje u električnu energiju. Fotonaponski sustavi imaju brojne prednosti kao što su: Sunčeva energija je besplatna i praktički neiscrpa, tehnologija pretvorbe energije je čista, moguće je napajanje potrošača na mjestima gdje nema izgrađenog elektroenergetskog sustava, karakterizira je visoka pouzdanost i mali pogonski troškovi, a osigurava se dugogodišnji vijek trajanja fotonaponskih modula. Tržište fotonaponske tehnologije i fotonaponskih sustava ima u posljednje vrijeme snažan rast, što će se sigurno nastaviti i u sljedećim godinama. Kada bismo usporedili cijene fotonaponskih sustava instaliranih 1980. godine sa današnjim cijenama, uočljivo je da su smanjene i do 10 puta, a očekuje se da će do 2030. godine pasti i do 30 puta u odnosu na 1980. godinu. Stalan pad cijena fotonaponskih modula i sustav poticaja značajno bi trebao povećati interes za ulaganjem u izgradnju fotonaponskih sustava spojenih na mrežu. Proizvodnjom električne energije iz fotonaponskih sustava smanjuje se utjecaj na okoliš, a posebno se smanjuje emisija CO₂. Što je još jedan od razloga za korištenje fotonaponskih sustava.

Cilj ovog završnog rada bio je osmisliti i konstruirati prihvatljivo rješenje rotacijskog fotonaponskog sustava za jednoosno praćenje položaja Sunca i odgovarajućim tablicama i grafovima usporediti proizvodnju kWh oba sustava proizvoljnog dana u četiri najsunčanija mjeseca u godini. Kombinacijom metalne konstrukcije i elektroničkih komponenti osmišljen je mehatronički sustav koji zasigurno povećava iskoristivost fotonaponskih panela. To povećanje se kreće u granicama 12-15% u odnosu na fiksni sustav. Iako je takav predloženi sustav cijenom skuplji od klasičnog fiksnog sustava, rotacijski sustav se isplati instalirati s obzirom na veću iskoristivost fotonaponskih panela. Obzirom na jednostavnost konstrukcije i elemenata isplativost ulaganja u takav sustav bila bi opravdana za 2-3 godine.

Također, rotacijski fotonaponski sustav za jednoosno praćenje položaja Sunca osmišljen je na način da njegova konstrukcija odmiće module od samog krova tako da se isti mogu zakretati u oba smjera. Iz tog razloga poboljšano je hlađenje cijelog sustava, što je vrlo bitno, jer zbog tamnih FN ćelija cijeli sustav se zagrijava a poznato je da s povećanjem temperature učinkovitost fotonaponske pretvorbe značajno pada. Na ovaj način je dobit dvostruko izražena: bolje hlađenje sustava zbog rada na nižim temperaturama i povoljniji položaj panela u odnosu na položaj Sunca.

PRIVITAK:

1. Zdeslav Matić: „Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske“, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, (2007.), Tablica klimatoloških podataka za grad Karlovac

KARLOVAC

Županija: IV. Karlovačka
WMO oznaka: 14232
ICAO oznaka: -

Zemljopisna širina [N]: 45° 30'
Zemljopisna dužina [E]: 15° 33'
Nadmorska visina [m]: 112

Stupanj dani grijanja (prag 10°C): 2744,5
Stupanj dani grijanja (prag 12°C): 2951,0
Stupanj dani grijanja (prag 15°C): 3124,6
Standardna vanjska projektna temperatura [°C]: -

Broj dana grijanja (prag 10°C): 163,9
Broj dana grijanja (prag 12°C): 186,7
Broj dana grijanja (prag 15°C): 212,9

Klimatološki podaci

Mjesec	Srednje mjesečno trajanje sijanja Sunca [h]	Relativno trajanje sijanja Sunca ¹	Srednji broj dana bez sijanja Sunca ¹	Srednji broj dana s neprekidnim sijanjem Sunca ¹	Srednji broj oblačnih dana po dekadama ¹			Srednji broj vedrih dana po dekadama ¹			Srednje mjesečne temperature zraka [°C] ²	Srednje mjesečne količine oborine [mm] ²	Maksimalne dnevne količine oborine [mm] ²	Srednja mjesečna relativna vlažnost zraka [%] ²	Srednji mjesečni tlak vodene pare [hPa] ²
					I.	II.	III.	I.	II.	III.					
siječanj	47,7	0,188	17,1	0,7	6,8	6,2	6,6	0,6	0,6	0,6	-0,6	69,2	45,0	88	5,5
veljača	77,5	0,288	11,0	1,3	5,3	5,6	3,8	0,8	1,0	1,1	2,2	65,7	38,1	84	6,2
ožujak	132,1	0,367	7,9	2,7	4,5	3,9	4,0	1,3	1,3	2,1	6,5	84,5	47,0	78	7,6
travanj	174,5	0,444	6,1	3,1	3,9	3,6	3,4	1,4	1,3	1,4	11,2	88,7	40,0	75	9,7
svibanj	225,0	0,504	3,8	3,1	2,9	2,6	3,3	1,4	2,1	1,6	15,9	93,7	42,1	76	13,4
lipanj	241,3	0,540	2,3	2,5	3,4	2,5	1,9	1,6	1,5	2,5	19,2	99,2	64,6	76	16,7
srpanj	284,6	0,620	2,3	4,0	1,8	1,5	2,1	2,7	2,8	3,8	21,1	94,9	93,2	75	18,4
kolovoz	249,3	0,582	2,6	4,4	1,5	1,5	3,4	3,6	3,0	2,6	20,1	103,5	83,8	78	18,2
rujan	184,6	0,517	4,1	3,8	2,0	2,8	2,9	2,9	2,4	1,8	16,4	97,4	52,5	82	15,4
listopad	128,9	0,388	8,2	2,0	3,5	3,7	4,2	1,4	1,3	1,4	11,1	92,7	71,7	84	11,4
studen	61,3	0,235	14,6	0,4	6,1	5,9	5,8	0,5	0,2	0,9	5,6	119,7	74,2	87	8,2
prosinac	39,7	0,158	19,4	0,3	5,8	6,8	8,0	0,7	0,7	0,6	0,9	85,1	52,2	89	6,1
prosječno	153,9	0,403	8,3	2,4	-	-	-	-	-	-	10,8	91,2	-	81	11,4
Σ	1846,5	-	99,4	28,3	-	-	-	-	-	-	-	1094,3	-	-	-

Srednja dnevna ozračenost prema jugu nagnute plohe [kWh/m²]

Mjesec	Mjesečni optimalni kut					Sezonski optimalni kut					Godišnji optimalni kut				
	Kut [°]	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno	Kut [°]	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno	Kut [°]	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno
siječanj	57,77	1,48	0,54	0,90	0,05	48,86	1,47	0,59	0,85	0,03	23,85	1,31	0,68	0,62	0,01
veljača	50,42	2,25	0,89	1,30	0,06	48,86	2,25	0,90	1,30	0,06	23,85	2,09	1,04	1,04	0,01
ožujak	39,17	3,64	1,49	2,08	0,07	48,86	3,60	1,39	2,11	0,11	23,85	3,55	1,60	1,92	0,03
travanj	22,73	4,64	2,10	2,51	0,03	13,85	4,60	2,15	2,43	0,01	23,85	4,64	2,09	2,51	0,04
svibanj	8,39	5,58	2,60	2,98	0,01	13,85	5,58	2,58	2,99	0,02	23,85	5,50	2,50	2,95	0,05
lipanj	1,50	6,10	2,75	3,35	0,00	13,85	6,04	2,71	3,32	0,02	23,85	5,89	2,63	3,20	0,05
srpanj	4,93	6,39	2,54	3,85	0,00	13,85	6,37	2,51	3,84	0,02	23,85	6,24	2,44	3,75	0,05
kolovoz	17,18	5,28	2,30	2,97	0,02	13,85	5,27	2,31	2,94	0,01	23,85	5,27	2,25	2,98	0,04
rujan	35,88	4,67	1,59	3,01	0,08	13,85	4,42	1,73	2,68	0,01	23,85	4,60	1,68	2,89	0,03
listopad	49,83	3,05	1,07	1,90	0,08	48,86	3,05	1,07	1,90	0,08	23,85	2,85	1,23	1,60	0,02
studen	55,92	1,72	0,63	1,03	0,05	48,86	1,71	0,67	0,99	0,04	23,85	1,54	0,78	0,75	0,01
prosinac	58,43	1,04	0,44	0,57	0,03	48,86	1,03	0,47	0,54	0,03	23,85	0,93	0,54	0,39	0,01
prosječno	-	3,83	1,58	2,21	0,04	-	3,79	1,59	2,16	0,04	-	3,71	1,62	2,05	0,03
Σ[MWh/m ²]	-	1,40	0,58	0,81	0,01	-	1,38	0,58	0,79	0,01	-	1,35	0,59	0,75	0,01

¹ razdoblje od 1951. do 1980. godine

² razdoblje od 1961. do 1990. godine

Srednja dnevna ozračenost prema jugu nagnute plohe [kWh/m²]

Mjesec	Nagib 0°				Nagib 10°				Nagib 20°				Nagib 30°			
	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno
siječanj	1,00	0,71	0,30	0,00	1,15	0,70	0,44	0,00	1,27	0,69	0,58	0,01	1,37	0,66	0,69	0,01
veljača	1,69	1,08	0,61	0,00	1,88	1,08	0,81	0,00	2,04	1,05	0,98	0,01	2,16	1,01	1,12	0,02
ožujak	3,08	1,67	1,41	0,00	3,32	1,66	1,66	0,00	3,50	1,62	1,86	0,02	3,61	1,56	2,00	0,04
travanj	4,39	2,18	2,20	0,00	4,55	2,17	2,38	0,01	4,63	2,12	2,49	0,03	4,62	2,04	2,53	0,06
svibanj	5,54	2,61	2,92	0,00	5,59	2,60	2,98	0,01	5,54	2,54	2,97	0,03	5,40	2,44	2,88	0,07
lipanj	6,10	2,75	3,35	0,00	6,08	2,73	3,34	0,01	5,96	2,67	3,26	0,04	5,74	2,57	3,09	0,08
srpanj	6,37	2,55	3,83	0,00	6,39	2,53	3,85	0,01	6,30	2,47	3,79	0,04	6,10	2,38	3,64	0,09
kolovoz	5,11	2,35	2,76	0,00	5,25	2,33	2,91	0,01	5,28	2,28	2,98	0,03	5,22	2,19	2,96	0,07
rujan	4,03	1,75	2,27	0,00	4,33	1,74	2,59	0,01	4,54	1,70	2,82	0,02	4,65	1,63	2,97	0,05
listopad	2,31	1,29	1,02	0,00	2,57	1,28	1,29	0,00	2,78	1,25	1,52	0,01	2,93	1,20	1,70	0,03
studenj	1,19	0,81	0,38	0,00	1,36	0,81	0,55	0,00	1,49	0,79	0,70	0,01	1,60	0,76	0,82	0,02
prosinac	0,73	0,56	0,17	0,00	0,83	0,56	0,27	0,00	0,91	0,55	0,35	0,00	0,97	0,53	0,43	0,01
prosječno	3,47	1,70	1,77	0,00	3,62	1,68	1,93	0,01	3,70	1,65	2,03	0,02	3,71	1,58	2,08	0,05
Σ[MWh/m ²]	1,27	0,62	0,65	0,00	1,32	0,61	0,70	0,00	1,35	0,60	0,74	0,01	1,35	0,58	0,76	0,02

Mjesec	Nagib 40°				Nagib 50°				Nagib 60°				Nagib 70°			
	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno
siječanj	1,43	0,62	0,79	0,02	1,47	0,58	0,86	0,04	1,48	0,53	0,90	0,05	1,46	0,47	0,92	0,07
veljača	2,23	0,96	1,23	0,04	2,25	0,89	1,30	0,06	2,23	0,81	1,33	0,08	2,16	0,73	1,32	0,11
ožujak	3,64	1,48	2,09	0,07	3,59	1,37	2,11	0,11	3,48	1,25	2,07	0,15	3,29	1,12	1,96	0,20
travanj	4,52	1,93	2,49	0,10	4,33	1,79	2,38	0,16	4,05	1,64	2,20	0,22	3,70	1,47	1,95	0,29
svibanj	5,16	2,31	2,72	0,13	4,82	2,15	2,48	0,20	4,41	1,96	2,17	0,28	3,93	1,75	1,81	0,36
lipanj	5,43	2,43	2,85	0,14	5,02	2,26	2,54	0,22	4,54	2,06	2,17	0,31	4,00	1,85	1,75	0,40
srpanj	5,79	2,25	3,39	0,15	5,37	2,09	3,05	0,23	4,87	1,91	2,64	0,32	4,29	1,71	2,16	0,42
kolovoz	5,06	2,07	2,86	0,12	4,79	1,93	2,68	0,18	4,44	1,76	2,43	0,26	4,01	1,58	2,10	0,34
rujan	4,66	1,55	3,02	0,09	4,57	1,44	2,99	0,14	4,38	1,31	2,86	0,20	4,09	1,18	2,65	0,26
listopad	3,02	1,14	1,83	0,05	3,05	1,06	1,91	0,08	3,01	0,97	1,92	0,12	2,90	0,86	1,88	0,15
studenj	1,67	0,72	0,93	0,03	1,71	0,67	1,00	0,04	1,72	0,61	1,05	0,06	1,68	0,55	1,06	0,08
prosinac	1,01	0,50	0,50	0,02	1,03	0,46	0,55	0,03	1,04	0,42	0,58	0,04	1,02	0,38	0,59	0,05
prosječno	3,64	1,50	2,06	0,08	3,51	1,39	1,99	0,12	3,31	1,27	1,86	0,17	3,05	1,14	1,68	0,23
Σ[MWh/m ²]	1,33	0,55	0,75	0,03	1,28	0,51	0,73	0,05	1,21	0,46	0,68	0,06	1,11	0,42	0,61	0,08

Mjesec	Nagib 80°				Nagib 90°			
	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno	Ukupno	Raspršeno	Izravno	Odbijeno
siječanj	1,41	0,41	0,91	0,08	1,33	0,35	0,87	0,10
veljača	2,05	0,64	1,28	0,14	1,90	0,54	1,19	0,17
ožujak	3,03	0,98	1,80	0,25	2,72	0,84	1,58	0,31
travanj	3,29	1,28	1,65	0,36	2,83	1,09	1,30	0,44
svibanj	3,40	1,53	1,41	0,46	2,84	1,31	0,98	0,55
lipanj	3,41	1,61	1,29	0,50	2,81	1,37	0,83	0,61
srpanj	3,66	1,49	1,64	0,53	3,00	1,27	1,09	0,64
kolovoz	3,52	1,38	1,72	0,42	2,98	1,17	1,29	0,51
rujan	3,72	1,03	2,36	0,33	3,28	0,88	2,00	0,40
listopad	2,73	0,76	1,78	0,19	2,51	0,64	1,63	0,23
studenj	1,61	0,48	1,04	0,10	1,51	0,41	0,99	0,12
prosinac	0,98	0,33	0,59	0,06	0,92	0,28	0,57	0,07
prosječno	2,74	1,00	1,46	0,29	2,39	0,85	1,19	0,35
Σ[MWh/m ²]	1,00	0,36	0,53	0,10	0,87	0,31	0,44	0,13

Srednja dnevna ukupna ozračenost nagnute plohe [kWh/m²]

Mjesec	Azimut plohe ±15°										Azimut plohe ±30°									
	Kut nagiba plohe										Kut nagiba plohe									
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°		
siječanj	1,14	1,26	1,35	1,42	1,45	1,46	1,43	1,38	1,30	1,13	1,23	1,31	1,36	1,38	1,38	1,35	1,29	1,21		
veljača	1,88	2,03	2,14	2,20	2,22	2,20	2,13	2,01	1,86	1,86	1,99	2,08	2,13	2,14	2,10	2,03	1,91	1,76		
ožujak	3,31	3,49	3,59	3,61	3,57	3,45	3,26	3,01	2,70	3,29	3,44	3,53	3,55	3,50	3,38	3,20	2,96	2,67		
travanj	4,55	4,63	4,62	4,53	4,34	4,08	3,74	3,34	2,90	4,54	4,61	4,61	4,52	4,35	4,11	3,80	3,43	3,02		
svibanj	5,59	5,54	5,41	5,17	4,85	4,45	3,99	3,47	2,92	5,58	5,55	5,43	5,22	4,93	4,56	4,13	3,66	3,15		
lipanj	6,08	5,97	5,76	5,45	5,06	4,59	4,06	3,49	2,90	6,08	5,98	5,79	5,52	5,16	4,72	4,23	3,70	3,15		
srpanj	6,39	6,31	6,11	5,81	5,41	4,92	4,36	3,74	3,10	6,39	6,32	6,15	5,88	5,52	5,07	4,56	3,99	3,39		
kolovoz	5,24	5,28	5,23	5,07	4,82	4,48	4,06	3,58	3,06	5,23	5,27	5,23	5,09	4,86	4,56	4,18	3,74	3,25		
rujan	4,32	4,53	4,64	4,65	4,56	4,38	4,10	3,74	3,31	4,29	4,48	4,58	4,59	4,51	4,33	4,07	3,74	3,34		
listopad	2,56	2,76	2,91	2,99	3,01	2,96	2,85	2,68	2,45	2,54	2,71	2,84	2,90	2,91	2,85	2,74	2,57	2,35		
studeni	1,35	1,48	1,58	1,65	1,69	1,69	1,65	1,58	1,48	1,33	1,45	1,53	1,59	1,61	1,60	1,56	1,49	1,38		
prosinac	0,82	0,90	0,96	1,00	1,02	1,02	1,00	0,96	0,91	0,81	0,88	0,93	0,96	0,98	0,97	0,95	0,91	0,85		
prosječno	3,61	3,69	3,70	3,64	3,51	3,31	3,06	2,75	2,41	3,60	3,67	3,68	3,62	3,49	3,31	3,07	2,78	2,46		
Σ[MWh/m ²]	1,32	1,35	1,35	1,33	1,28	1,21	1,12	1,00	0,88	1,31	1,34	1,34	1,32	1,28	1,21	1,12	1,02	0,90		

Mjesec	Azimut plohe ±45°										Azimut plohe ±60°									
	Kut nagiba plohe										Kut nagiba plohe									
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°		
siječanj	1,10	1,18	1,24	1,28	1,29	1,27	1,24	1,17	1,09	1,07	1,13	1,16	1,18	1,18	1,16	1,11	1,05	0,97		
veljača	1,83	1,93	2,00	2,03	2,03	1,98	1,90	1,79	1,64	1,79	1,86	1,90	1,91	1,89	1,84	1,76	1,65	1,51		
ožujak	3,25	3,38	3,44	3,45	3,39	3,28	3,10	2,87	2,60	3,20	3,28	3,32	3,31	3,25	3,13	2,96	2,75	2,50		
travanj	4,51	4,57	4,56	4,48	4,33	4,11	3,82	3,48	3,10	4,47	4,51	4,49	4,41	4,26	4,05	3,79	3,48	3,13		
svibanj	5,57	5,55	5,44	5,26	5,00	4,67	4,29	3,85	3,38	5,56	5,53	5,43	5,27	5,03	4,74	4,38	3,98	3,55		
lipanj	6,09	6,00	5,84	5,60	5,29	4,90	4,46	3,97	3,46	6,09	6,01	5,87	5,66	5,38	5,03	4,63	4,19	3,72		
srpanj	6,39	6,33	6,19	5,96	5,65	5,25	4,79	4,28	3,73	6,38	6,33	6,20	6,00	5,72	5,37	4,96	4,49	3,99		
kolovoz	5,21	5,25	5,20	5,08	4,88	4,60	4,26	3,86	3,41	5,18	5,19	5,15	5,03	4,84	4,59	4,28	3,91	3,50		
rujan	4,25	4,40	4,48	4,48	4,40	4,24	4,00	3,69	3,32	4,18	4,29	4,34	4,32	4,23	4,08	3,85	3,57	3,24		
listopad	2,49	2,64	2,73	2,78	2,77	2,70	2,59	2,43	2,22	2,44	2,54	2,60	2,62	2,59	2,52	2,41	2,26	2,07		
studeni	1,31	1,40	1,46	1,50	1,51	1,49	1,44	1,36	1,26	1,27	1,34	1,38	1,39	1,39	1,39	1,30	1,23	1,13		
prosinac	0,80	0,85	0,89	0,91	0,91	0,90	0,87	0,82	0,77	0,78	0,81	0,83	0,84	0,84	0,82	0,78	0,74	0,68		
prosječno	3,58	3,63	3,63	3,58	3,46	3,29	3,07	2,80	2,50	3,54	3,58	3,57	3,50	3,39	3,23	3,02	2,78	2,50		
Σ[MWh/m ²]	1,30	1,33	1,33	1,31	1,26	1,20	1,12	1,02	0,91	1,29	1,31	1,30	1,28	1,24	1,18	1,10	1,01	0,91		

Mjesec	Azimut plohe ±75°										Azimut plohe ±90°									
	Kut nagiba plohe										Kut nagiba plohe									
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°		
siječanj	1,04	1,07	1,08	1,07	1,06	1,03	0,98	0,92	0,85	1,00	1,00	0,99	1,29	0,94	0,91	0,86	0,80	0,73		
veljača	1,74	1,78	1,79	1,76	1,74	1,68	1,60	1,49	1,37	1,69	1,68	1,66	2,04	1,58	1,51	1,43	1,33	1,21		
ožujak	3,14	3,17	3,18	3,10	3,06	2,94	2,78	2,58	2,35	3,07	3,05	3,01	3,43	2,84	2,71	2,55	2,37	2,17		
travanj	4,43	4,42	4,38	4,22	4,14	3,94	3,69	3,40	3,08	4,37	4,32	4,24	4,42	3,96	3,76	3,53	3,26	2,96		
svibanj	5,54	5,49	5,38	5,12	5,00	4,73	4,40	4,03	3,63	5,51	5,43	5,30	5,14	4,91	4,64	4,33	3,98	3,61		
lipanj	6,08	6,00	5,86	5,55	5,41	5,09	4,72	4,31	3,87	6,07	5,97	5,82	5,45	5,37	5,06	4,72	4,33	3,91		
srpanj	6,36	6,30	6,17	5,86	5,73	5,41	5,03	4,60	4,14	6,34	6,24	6,10	5,82	5,64	5,34	4,98	4,58	4,15		
kolovoz	5,13	5,12	5,05	4,85	4,75	4,51	4,22	3,88	3,51	5,09	5,02	4,92	4,99	4,59	4,35	4,07	3,76	3,41		
rujan	4,10	4,15	4,16	4,07	4,01	3,85	3,64	3,38	3,09	4,02	3,99	3,93	4,45	3,73	3,57	3,36	3,13	2,86		
listopad	2,38	2,43	2,45	2,42	2,39	2,31	2,20	2,05	1,88	2,31	2,30	2,28	2,78	2,17	2,08	1,97	1,83	1,68		
studeni	1,24	1,27	1,28	1,27	1,26	1,22	1,16	1,09	1,00	1,19	1,19	1,18	1,51	1,12	1,08	1,02	0,95	0,87		
prosinac	0,76	0,77	0,78	0,77	0,76	0,73	0,70	0,65	0,60	0,73	0,73	0,72	0,91	0,68	0,65	0,61	0,57	0,52		
prosječno	3,50	3,51	3,47	3,35	3,28	3,13	2,93	2,71	2,45	3,46	3,42	3,35	3,53	3,14	2,98	2,79	2,58	2,35		
Σ[MWh/m ²]	1,28	1,28	1,27	1,22	1,20	1,14	1,07	0,99	0,90	1,26	1,25	1,22	1,29	1,14	1,09	1,02	0,94	0,86		

LITERATURA

1. Ljubomir Majdandžić: „Solarni sustavi“; Graphis, Zagreb, (2010.)
2. Zdeslav Matić: „Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske“; Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, (2007.)
3. Boris Labudović: „Osnove primjene fotonaponskih sustava“; Energetika marketing, Zagreb, (2011.)
4. J. Rizk: „Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels“; World Academy of Science, Engineering and Technology, (2008.)
5. www.wikipedia.com
6. www.solvis.hr
7. www.solarprojekt.hr
8. www.croenergo.eu
9. www.vuka.hr
10. www.meteo-info.hr
11. www.wired.com
12. www.gopixpic.com
13. www.vast.ac.vn
14. www.g4g.com.hr
15. www.thecoolgadgets.com
16. www.intechopen.com
17. www.cyberparent.com
18. www.homepower.com
19. www.energis.ba